

УДК 551.35:550.4:551.79

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ТИХОГО ОКЕАНА

© 2025 г. М. А. Левитан^{а,*}, Л. Г. Домарацкая^а, А. В. Кольцова^а, К. В. Сыромятников^а

^аИнститут геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, ул. Косыгина, 19, Москва, 119991 Россия

*e-mail: m-levitan@mail.ru

Поступила в редакцию 18.09.2024 г.

После доработки 30.10.2024 г.

Принята к публикации 14.01.2025 г.

В настоящем геохимическом обзоре на материале отчетов по рейсам Международного проекта глубоководного бурения и других литературных данных для основных типов плейстоценовых отложений Тихого океана представлены таблицы по среднему арифметическому химическому составу, средневзвешенному химическому составу, скоростям накопления и абсолютным массам химических компонентов. Эти таблицы можно использовать для сравнительного анализа с осадками этого же и других стратонов в иных океанических бассейнах, а также с отложениями палеоокеанов на континентах. Среди литогенного вещества выявлено доминирование терригенной матрицы. Установлено большое сходство химического состава вулканогенных отложений и гемипелагических глин. Показаны особенности химического состава гидротермальных отложений. Методами математической статистики выявлены основные геохимические ассоциации и главные факторы, определяющие химический состав изученных осадков. Подсчитаны массы оксидов петрогенных элементов и ряда редких элементов в осадках плейстоценового возраста. Получено представление о среднем химическом составе плейстоцена Тихого океана.

Ключевые слова: Тихий океан, плейстоцен, донные отложения, геохимия

DOI: 10.31857/S0024497X25030013, **EDN:** IAALCC

Данная статья продолжает цикл публикаций о геохимических особенностях плейстоценовых отложений Мирового океана [Левитан, 2024; Левитан и др., 2023, 2024]. В них мы опирались на представление А.Б. Ронова и его коллег [Ронов и др., 1990] о необходимости учета средневзвешенных химических составов различных составляющих земной коры. Структура статьи соответствует в целом структуре вышеуказанных работ по Индийскому и Атлантическому океану, что облегчает в будущем проведение сравнительного анализа. Возраст плейстоцена принимался в соответствии с данными из сводки [Gradstein et al., 2004].

Ранее был рассчитан средневзвешенный литологический состав плейстоценовых осадков Пацифики [Левитан, 2021], который необходим для вычисления средневзвешенного химического состава этих отложений и связанных с ними средних скоростей накопления и абсолютных масс химических компонентов. Указанную цель можно достичь при решении двух задач: 1) создания соответствующей базы данных и 2) расчета средних арифметических

для химического состава основных типов плейстоценовых отложений Тихого океана.

Только на этой основе следует попытаться осуществить в дальнейшем сравнительный анализ химического состава плейстоцена всего Мирового океана и балансовые расчеты в системе континенты – океаны. Полученные результаты можно также использовать, например, при генетическом анализе разрезов предполагаемых участков развития океанической земной коры на континентах.

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

Геохимический обзор основан на данных по химическому составу плейстоценовых отложений Тихого океана, содержащихся в ряде отчетов по рейсам Международного проекта глубоководного бурения (фазы DSDP, ODP, IODP) (рис. 1). Кроме того, использованы дополнительные материалы из опубликованных литературных источников.

По сравнению с другими океанами, из списка основных типов плейстоценовых отложений

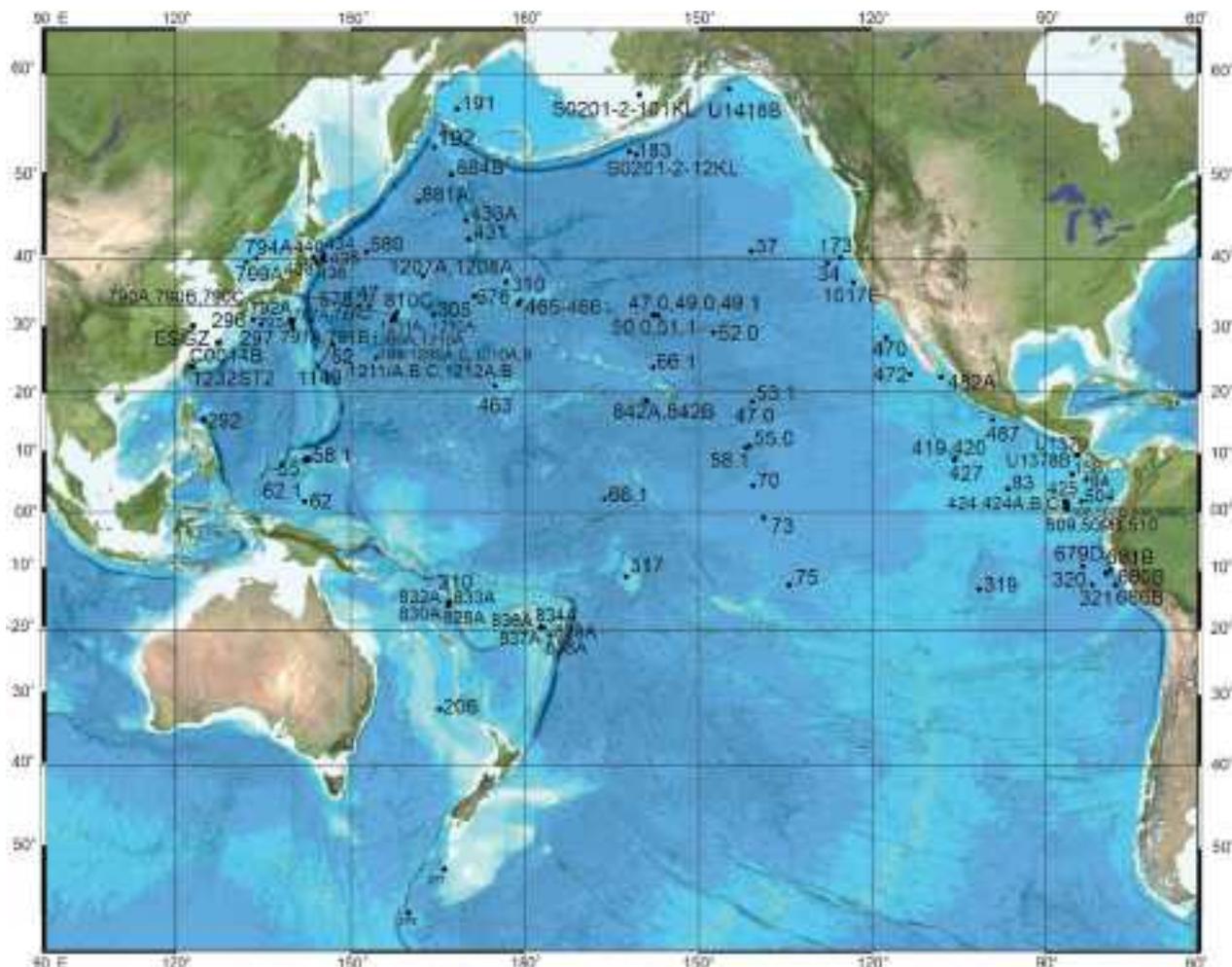


Рис. 1. Расположение скважин глубоководного бурения, в которых плейстоценовые отложения охарактеризованы химическими анализами.

исчезли диамиктиты, но появились гидротермальные отложения. Для карбонатно-обломочных бентогенных осадков оригинальные материалы по их химическому составу не найдены, и мы использовали данные по составу их аналогов из Индийского океана [Левитан и др., 2023]. Указанные в монографии [Левитан, 2021] карбонатные турбидиты в Тихом океане располагаются на склонах подводных хребтов и плато, которые покрыты чехлом упомянутых бентогенных отложений. Поэтому для них также принят химический состав карбонатно-обломочных осадков.

Для характеристики химического состава пелагических глин использованы данные из работ [Волков, Фомина, 1973; Волков и др., 1974а, 1974б; Лисицына, Дворецкая, 1972; Лисицына и др., 1973; Свальнов, Гордеев, 1986; Donnelly, 1980а, 1980б; Grechin et al., 1981b; Heath et al., 1985а, 1985б; Kuykendall et al., 1971; Leggett, 1982; Lisitsin et al.,

1971; Migdisov et al., 1981; Mimura et al., 2019; Ouyang et al., 2023; Ren et al., 2022].

Геохимические особенности гемипелагических глин охарактеризованы в статьях [Волков, Фомина, 1973; Волков и др., 1974а, 1974б; Левитан и др., 2013, 2015; Лисицына, Дворецкая, 1972; Лисицына и др., 1973; Böstrom et al., 1976; Corliss et al., 1976; Donnelly, 1980а, 1980б; Donnelly, Wallace, 1976; Feng et al., 2024; Frakes, 1975; Grechin et al., 1981а; Heath et al., 1985а; Irino, Pedersen, 2000; Karpoff, 1980; Kurnosov et al., 1983; Kuykendall et al., 1971; Leggett, 1982; Murdmaa et al., 1980; Nishimura et al., 1992; Watanabe et al., 2022].

По геохимии терригенных турбидитов данных мало [Beck, Hickey-Vargas, 2022; Feng et al., 2024; Minai et al., 1986; Murdmaa et al., 1980]. Столь же немногочисленны материалы по морским пескам [Garcia, 1993; Hiscott, Gill, 1992; Irino, Pedersen, 2000; Watanabe et al., 2022].

Химический состав вулканогенных отложений охарактеризован в статьях [Волков, Фомина, 1973; Волков и др., 1974а, 1974б; Лисицына, Дворецкая, 1972; Лисицына и др., 1973; Baker et al., 1994; Beck, Hickey-Vargas, 2022; Cao et al., 1995; Donnelly, 1980a, 1980b; Furuta et al., 1986; Garcia, 1993; Grechin et al., 1981a; Hiscott, Gill, 1992; Lisitsin et al., 1971; Migdisov et al., 1981; Minai et al., 1992; Murdmaa et al., 1980; Natland, 1993; Nishimura et al., 1992; Varentsov, 1981a, 1981b].

Химизму гидротермальных (металлоносных) отложений плейстоцена в Тихом океане посвящены работы [Barrett et al., 1983; Bøstrom et al., 1976; Corliss et al., 1976; Dymond et al., 1980; Gurvich et al., 1995; Hoffert et al., 1980; Kurnosov et al., 1983; Migdisov et al., 1983; Moorby et al., 1983; Varentsov et al., 1983].

Геохимия кокколитоидов илов и глин описана в статьях [Barrett et al., 1983; Beiersdorf, Natland, 1983; Cramp, Lewis, 1992; Dean, 1981; Donnelly, 1980a; Karpoff, 1980; Kurnosov et al., 1983; Leggett, 1982; Lisitsin et al., 1971; Lyle, 1986; Migdisov et al., 1983; Moorby et al., 1983; Schrader, Furbish, 1980; Varentsov, 1981b; Varentsov et al., 1981].

Для характеристики химического состава кокколитоидо-фораминиферовых илов и глин использованы работы [Barrett et al., 1983; Beiersdorf, Natland, 1983; Cramp, Lewis, 1992; Dean, 1981; Donnelly, 1980a; Donnelly, Wallace, 1976; Dymond et al., 1980; Karpoff, 1980; Kurnosov et al., 1983; Leggett, 1982; Lisitsin et al., 1971; Lyle, 1986; Migdisov et al., 1983; Moorby et al., 1983; Schrader, Furbish, 1980; Varentsov, 1981a; Varentsov et al., 1981].

Химический состав диатомовых илов и глин описан в статьях [Волков, Фомина, 1973; Волков и др., 1974а, 1974б; Левитан, 2000; Левитан и др., 2007; Лисицына, Дворецкая, 1972; Лисицына и др., 1973; Donnelly, 1980a; Grechin et al., 1981b; Irino, Pedersen, 2000; Kurnosov et al., 1983; Lisitsin et al., 1971; Minai et al., 1986; Murdmaa et al., 1980; Nishimura et al., 1992; Patience et al., 1990; Varentsov et al., 1981].

Геохимии диатомово-радиоляриевых илов посвящены работы [Волков, Фомина, 1973; Волков и др., 1974а, 1974б; Левитан, 2000; Лисицына, Дворецкая, 1972; Лисицына и др., 1973; Свальнов, Гордеев, 1986; Donnelly, 1980a; Grechin et al., 1981b; Lisitsin et al., 1971; Varentsov et al., 1981].

Данный геохимический обзор основан, главным образом, на материалах глубоководного бурения, которое началось в конце 1960-х гг.; это обстоятельство объясняет большое число относительно “старых” литературных ссылок.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В статье применены методы исследования, которые ранее подробно описаны в работах [Левитан и др., 2023, 2024]. Авторам пришлось провести критический анализ полученной выборки. При этом были исправлены ошибки и опечатки в первичных данных; проделана большая работа по определению точных литотипов всех проб, для которых имелись химические анализы; литотипы привязаны к ранее выделенным [Левитан, 2021] основным типам отложений; выбракованы “ураганские” содержания химических компонентов. В связи с тем, что в монографии [Левитан, 2021] не были рассчитаны массы сухого вещества гидротермальных и гидротермально-измененных пород, в настоящей статье приводятся в табличном виде только данные по их среднеарифметическому химическому составу (т.е. без расчета средневзвешенного химического состава, скоростей накопления и абсолютных масс). Материалы по химическому составу бентогенных карбонатов и карбонатно-обломочных отложений, а также по карбонатным турбидитам, как указывалось выше, не найдены. Всего в нашей выборке по плейстоценовым осадкам Пацифики учтены результаты химического анализа 4139 проб, включающие 47316 элементно-определений. Для работы с выборкой использовались методы математической статистики из пакета Statgraphics plus версия 5.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Средний химический состав

Рассмотрение химических составов плейстоценовых отложений Тихого океана свидетельствует о значительных колебаниях содержаний исследованных элементов в каждом из изученных типов осадков. Такие колебания вызваны как возрастными изменениями, связанными с эволюцией основных осадкообразующих процессов и флюктуациями параметров седиментации, так и пространственными факторами (сменой питающих провинций, фациальной изменчивостью и т.д.). Например, в работе [Gurvich et al., 1995] авторы продемонстрировали различия в химическом составе осадков на востоке экваториальной зоны Тихого океана соответственно возрастом от 2 до 1 млн лет и от 1 до 0 млн лет, что было обусловлено сменой литологического состава. В статье [Lamy et al., 1998] было показано, как состав четвертичных гемипелагических глин на юго-востоке Тихого океана вдоль континентальной окраины Чили менялся в соответствии со

сменной питающих провинций. Такого рода примеры легко продолжить.

Таблицы 1 и 2 содержат результаты расчета средних арифметических содержаний петрогенных и редких элементов в основных типах плейстоценовых отложений Пацифики. В табл. 2 приведены также средние составы бескарбонатного вещества (бкв) планктоногенных карбонатов. Рассмотрим коэффициенты сравнения (КС), т.е. частные от деления средних содержаний химических компонентов в относительно близких по составу осадках (табл. 3).

Для отношений содержания в пелагических глинах к содержанию в гемипелагических глинах выделены 4 группы КС: 1) <0.7 (CaO, Na₂O; Cr, Se, Sr, Ta); 2) от 0.7 до 1.4 (SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, K₂O, P₂O₅; Li, Sc, V, Ba, Nb); 3) от 1.4 до 2.0 (Zn, Rb, Mo, Zr, Ga, Ce); 4) более 2.0 (MnO, Sn, Co, Ni, Cu, La, Pr, Nd, Sm, Eu, Dy, Ho, Er, Yb). Судя по оксидам петрогенных элементов, первая группа сформирована за счет: 1) аккумуляции пелагических глин ниже уровня карбонатной компенсации и 2) большего содержания иллита в гемипелагических глинах. Во второй группе расположены химические компоненты примерно одинакового содержания, преобладающие в терригенной матрице. Ситуация с третьей группой наиболее непонятна. Одно из предположений связывает повышенные содержания отмеченных элементов в пелагических глинах с их преимущественной сорбцией самой тонкой гранулометрической фракцией. В четвертой группе обращает на себя внимание уникально высокий КС для Sn (46.37!) и довольно высокое значение для Cu (7.41). Не исключено, что отмеченное очень высокое содержание Sn в пелагических глинах является результатом проявления большого числа анализов осадков одного из районов Северо-Западной котловины, выявленного в базе данных. Присутствие остальных элементов объясняется: 1) доминированием в пелагических глинах гидrogenной формы MnO – прекрасного сорбента для большинства других элементов; 2) наличием в пелагических глинах повышенных концентраций костного детрита рыб, всегда обогащенного многими РЗЭ (редкоземельными элементами) [Ren et al., 2022].

В пелагических глинах обращают на себя внимание также высокие концентрации Al₂O₃ и K₂O. Для этого существуют несколько причин. Во-первых, заметная доля в нашей выборке цеолитовых (филлипситовых) глин. Во-вторых, широкое распространение на суше (в том числе и на островах) в тропической зоне Пацифики каолинитов

и латеритов [Zheng et al., 2022]. Повышенных концентраций растворенного Al вниз по разрезу водной толщи не отмечено [Zheng et al., 2022].

Анализ КС, рассчитанных как отношение содержания химического компонента в терригенных турбидитах к его содержанию в гемипелагических глинах, выявил, что КС большинства элементов попадают в группу от 0.7 до 1.4, что подразумевает очень близкие источники питания осадочным материалом. Это естественно, т.к. обе группы отложений относятся к гемипелагической мегафациальной зоне океана, и турбидиты представлены преимущественно дистальными разновидностями. Лишь КС по K₂O и Rb имеют слабо повышенные значения.

КС в терригенных турбидитах и морских песках свидетельствуют о большом сходстве их составов, что естественно для терригенной группы отложений. Несколько пониженные КС по CaO объясняются, скорее всего, присутствием в шельфовых песках раковинного детрита. Заметное повышение КС для K₂O и Rb, вероятно, следует объяснить явно более тонким гранулометрическим составом турбидитов.

Существенный интерес представляют КС, рассчитанные как отношение содержания химических компонентов в вулканогенных отложениях к гемипелагическим глинам. Уместно отметить довольно сложный состав вулканогенных отложений плейстоцена в Тихом океане. К ним относятся: вулканические пеплы различного состава, происходящие из отличающихся геодинамических обстановок; вулканогенные турбидиты, туфы и туффиты, эдафогенные отложения, вулкано-терригенные осадки. Критический анализ имеющейся выборки показал, что рассматриваемые отложения сосредоточены, главным образом, в плейстоценовых разрезах западной части Тихого океана. При этом они слагают зачастую лишь относительно небольшую долю от их объема.

В рассматриваемой паре типов отложений только K₂O, V, Se, Ba и Mo имеют КС менее 0.7. КС выше 1.4 обладает лишь Tm. КС подавляющего числа изученных элементов попали в группу от 0.7 до 1.4, что свидетельствует о практически одинаковом химическом составе обеих групп отложений. Как представляется, такая закономерность (основанная на весьма значительном числе анализов, представленных в табл. 1) указывает на преимущественно вулканогенный характер пород водосборов для западной, северной и восточной частей океанов, что вполне естественно для активных континентальных окраин Пацифики.

Таблица 1. Средние арифметические содержания химических элементов в плейстоценовых литогенных отложениях Тихого океана (содержания петрогенных компонентов даны в мас. %, редких элементов – в г/т)

Компонент	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	40.30–65.70/54.55 (n = 265)	40.02–70.41/57.22 (n = 828)	50.0–70.35/61.99 (n = 22)	50.87–66.60/60.80 (n = 70)	29.96–69.71/56.63 (n = 424)	12.60–53.9/37.37 (n = 84)
TiO ₂	0.21–0.94/0.67 (n = 276)	0.11–1.33/0.72 (n = 900)	0.48–1.02/0.70 (n = 63)	0.26–1.24/0.71 (n = 111)	0.08–2.69/1.04 (n = 381)	0.01–0.87/0.19 (n = 103)
Al ₂ O ₃	10.30–31.37/24.54 (n = 277)	10.0–48.05/20.0 (n = 926)	12.43–19.00/14.91 (n = 23)	10.18–39.69/16.95 (n = 79)	5.69–20.81/14.26 (n = 486)	0.2–34.06/4.83 (n = 91)
Fe ₂ O ₃	4.26–15.67/12.18 (n = 378)	4.12–18.19/9.09 (n = 946)	4.43–13.16/9.52 (n = 131)	2.89–9.75/6.42 (n = 71)	1.10–13.71/8.57 (n = 573)	3.40–30.5/13.04 (n = 67)
MnO	0.06–1.46/0.47 (n = 381)	0.01–0.92/0.15 (n = 934)	0.05–0.20/0.09 (n = 23)	0.06–0.27/0.13 (n = 71)	0.02–1.55/ 0.17 (n = 443)	0.02–21.75/5.14 (n = 103)
MgO	2.29–3.98/3.29 (n = 269)	0.18–4.97/3.16 (n = 843)	0.70–3.27/2.12 (n = 23)	1.46–3.59/2.51 (n = 71)	0.12–7.99/3.29 (n = 472)	0.91–8.60/3.32 (n = 94)
CaO	0.31–7.50/1.29 (n = 268)	0.07–14.78/2.74 (n = 1223)	1.26–4.81/2.70 (n = 22)	1.40–15.79/4.68 (n = 70)	0.2–13.0/6.05 (n = 367)	0.08–15.90/3.44 (n = 71)
Na ₂ O	0.27–3.78/1.22 (n = 204)	0.59–5.99/3.00 (n = 828)	1.24–3.54/2.39 (n = 23)	1.69–4.46/2.65 (n = 71)	1.2–4.95/3.30 (n = 456)	0.05–6.05/2.03 (n = 91)
K ₂ O	1.49–6.99/5.57 (n = 242)	0.26–6.00/2.91 (n = 844)	1.69–6.53/5.06 (n = 171)	0.33–3.20/1.95 (n = 73)	0.11–4.98/1.81 (n = 473)	0.05–8.0/1.98 (n = 104)
P ₂ O ₅	0.19–1.01/0.25 (n = 210)	0.01–0.87/0.19 (n = 779)	0.12–0.19/0.15 (n = 10)	0.01–0.42/0.11 (n = 48)	0.01–0.93/0.17 (n = 195)	0.02–0.56/0.20 (n = 58)
ППП	–	5.46–16.44/8.84 (n = 115)	–	4.88–14.0/8.24 (n = 19)	5.59–12.59/9.01 (n = 16)	1.63–24.95/11.04 (n = 37)
Li	23–70/72.08 (n = 150)	11.0–78.0/50.47 (n = 76)	H.o.	–	12.0–69.20/37.92 (n = 35)	H.o.
Sc	10.0–40.0/23.06 (n = 10)	6.10–34.0/16.75 (n = 173)	H.o.	14.0–57.00/26.64 (n = 27)	1.0–32.0/14.70 (n = 47)	H.o.
Sn	75–330/165.5 (n = 157)	2.0–5.0/3.57 (n = 38)	–	–	H.o.	–
V	54.0–350.0/131.18 (n = 79)	6.00–247.0/161.36 (n = 680)	–	63.0–508.0/174.47 (n = 92)	28.0–227.0/103.37 (n = 89)	5.0–181.0/62.42 (n = 62)

Таблица 1. Продолжение

Компонент	1	2	3	4	5	6
Cr	44.0–160/52.89 (n = 219)	4.0–217.0/89.63 (n = 692)	–	5.0–95.0/45.05 (n = 80)	3.80–572/70.52 (n = 106)	5.0–123.0/21.86 (n = 56)
Co	39.0–300/71.30 (n = 216)	4.70–45.0/18.82 (n = 655)	–	10.0–29/17.33 (n = 41)	5.0–87/22.99 (n = 80)	4.0–350.40/39.21 (n = 50)
Ni	40.00–460.0/200.57 (n = 216)	5.0–146.0/60.83 (n = 721)	–	5.0–97.5/27.77 (n = 95)	1.0–235/37.92 (n = 95)	6.00–570.0/79.82 (n = 54)
Cu	80.0–550/400.25 (n = 209)	7.0–264.0/54.02 (n = 655)	–	17.0–172.0/55.42 (n = 78)	5.0–261/62.89 (n = 84)	5.0–340.0/82.17 (n = 79)
Zn	75.0–330/165.53 (n = 157)	55.0–250.0/112.09 (n = 559)	–	75.0–200.0/109.96 (n = 80)	11–195/102.43 (n = 51)	23.0–300.0/111.59 (n = 61)
Rb	59.0–220.0/122.90 (n = 10)	10.0–189.0/83.72 (n = 288)	44.0–161.0/136.6 (n = 45)	3.0–110/33.68 (n = 79)	6.0–189/68.90 (n = 52)	9.0–51.0/26.43 (n = 7)
Ga	12.0–38.0/25.90 (n = 13)	12.0–27.0/17.23 (n = 29)	Н.о.	12.0–20/16.51 (n = 43)	7.0–22.0/16.40 (n = 30)	2.0–15.0/3.84 (n = 25)
As	Н.о.	1.0–46/10.16 (n = 557)	–	1.0–22.1/8.73 (n = 31)	3.0–15.5/11.85 (n = 50)	Н.о.
Se	0.14–0.5/0.31 (n = 55)	1.0–1.5/2.46 (n = 96)	Н.о.	Н.о.	0.2–1.30/1.11 (n = 44)	Н.о.
Br	Н.о.	24.0–40/21.91 (n = 60)	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Sc	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Sr	20.0–270/108.08 (n = 20)	24.0–339.0/245.09 (n = 696)	256–328.0/295.67 (n = 9)	125.0–369/230.11 (n = 76)	10.0–507.0/183.36 (n = 54)	5.2–17.6/10.59 (n = 21)
Mo	10–30/6.18 (n = 73)	0.6–25.0/3.34 (n = 289)	Н.о.	1.10–11.0/3.04 (n = 14)	0.5–3.4/1.51 (n = 39)	44.6–90.9/62.61 (n = 8)
Ba	740.0–1290/922.9 (n = 197)	13.99–7800/766.48 (n = 1226)	–	90.0–917/388.61 (n = 67)	128.0–909.0/373.97 (n = 60)	80.0–5419.64/1194.37 (n = 90)
Ta	0.2–0.6/0.36 (n = 9)	0.2–2.4/0.78 (n = 148)	Н.о.	–	0.2–1.19/0.67 (n = 35)	Н.о.
Re	Н.о.	10.74–18.46/15/44 (n = 10)	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.

Таблица 1. Продолжение

Компонент	1	2	3	4	5	6
Ge	Н.о.	1.5–1.7/1.59 (n = 26)	Н.о.	Н.о.	1.4–2.5/1.75 (n = 30)	Н.о.
Pb	22–80/19.19 (n = 150)	5.0–120.0/21.08 (n = 550)	–	5.0–89.0/11.61 (n = 61)	3.84–42.35/15.48 (n = 41)	39.0–375.0/117.93 (n = 29)
Y	–	9.2–46.0/22.31 (n = 545)	–	17.0–52/29.81 (n = 63)	9.2–54.0/27.8 (n = 46)	1.0–43.0/25.15 (n = 28)
Zr	77.0–290.0/202.62 (n = 22)	38.0–234.0/112.63 (n = 561)	106.0–195.0/134.32 (n = 47)	51.0–188/99.8 2 (n = 77)	38.0–262.0/90.32 (n = 59)	0.13–57.0/18.84 (n = 45)
Cs	Н.о.	0.78–7.8/4.1 (n = 63)	Н.о.	–	0.6–4.96/3.5 (n = 14)	Н.о.
Cd	100–290/160.77 (n = 3)	Н.о.	Н.о.	Н.о.	100–680/330.0 (n = 9)	Н.о.
Sb	Н.о.	2.40–3.50/1.94 (n = 60)	Н.о.	–	–	Н.о.
B	Н.о.	32.0–130/85.17 (n = 50)	Н.о.	Н.о.	Н.о.	97–558/316.65 (n = 31)
Nb	4.8–17.6/11.31 (n = 9)	4.0–18.2/11.48 (n = 499)	–	2.0–9.0/6.42 (n = 20)	4.0–66.0/18.83 (n = 87)	–
Hf	Н.о.	2.5–5.50/2.97 (n = 63)	Н.о.	–	2.98–5.63/3.33 (n = 15)	Н.о.
La	15.63–127.19/60.1 (n = 15)	7.77–54.0/25.35 (n = 173)	Н.о.	–	8.82–39.80/22.72 (n = 30)	0.30–6.60/1.93 (n = 11)
Ce	41.30–144.15/82.9 (n = 16)	16.37–87.10/49.22 (n = 167)	Н.о.	2.00–57.0/33.92 (n = 49)	14.63–85.60/43.92 (n = 48)	0.42–7.40/2.50 (n = 11)
Pr	6.25–52.08/20.32 (n = 14)	2.96–8.45/5.84 (n = 50)	Н.о.	3.74–8.01/5.20 (n = 14)	3.52–8.89/5.44 (n = 10)	–
Nd	17.53–151.59/77.17 (n = 14)	9.11–35.74/17.1, (n = 145)	Н.о.	–	8.64–38.23/16.22 (n = 32)	–
Sm	3.6–53.01/20.83 (n = 14)	2.5–8.82/4.75 (n = 148)	Н.о.	4.53–5.57/5.09 (n = 7)	2.67–9.67/5.22 (n = 32)	0.08–1.20/0.47 (n = 12)
Eu	1.98–8.76/5.18 (n = 7)	0.64–2.40/1.0 (n = 146)	Н.о.	–	0.64–2.71/1.18 (n = 29)	0.02–0.60/0.16 (n = 12)

Таблица 1. Окончание

Компонент	1	2	3	4	5	6
Gd	–	3.76–11.22/5.02 (n = 89)	Н.о.	Н.о.	3.98–9.07/5.36 (n = 22)	Н.о.
Tb	–	0.39–1.52/0.67 (n = 146)	Н.о.	–	0.39–1.66/0.72 (n = 29)	0.02–0.46/0.13 (n = 12)
Dy	2.0–41.90/22.59 (n = 12)	2.15–8.83/4.86 (n = 50)	Н.о.	Н.о.	1.86–9.70/5.85 (n = 10)	Н.о.
Ho	0.99–2.68/2.12 (n = 10)	0.64–1.78/0.98 (n = 50)	Н.о.	Н.о.	0.87–1.88/1.24 (n = 10)	Н.о.
Er	2.75–26.97/10.94 (n = 13)	1.22–4.69/2.84 (n = 50)	Н.о.	–	1.42–5.08/3.03 (n = 10)	Н.о.
Tm	Н.о.	0.31–0.61/0.42 (n = 48)	Н.о.	Н.о.	0.31–2.74/0.77 (n = 7)	Н.о.
Yb	1.85–25.11/8.02 (n = 16)	0.93–3.76/2.08 (n = 148)	Н.о.	–	0.93–4.06/1.91 (n = 32)	0.08–1.45/0.50 (n = 12)
Lu	–	0.16–0.57/0.32 (n = 146)	Н.о.	–	0.16–0.62/0.28 (n = 29)	0.02–0.26/0.09 (n = 12)
Th	Н.о.	1.08–14.0/7.74 (n = 146)	Н.о.	–	0.96–9.99/6.03 (n = 28)	Н.о.
U	Н.о.	0.24–7.0/2.74 (n = 437)	Н.о.	1.40–4.04/2.85 (n = 13)	0.29–2.41/1.85 (n = 32)	Н.о.

Примечания. Н.о. – не определяется; тире – число проб, меньше 7; ППП – потери при прокаливании; в числителе – колебания значений, в знаменателе – среднее арифметическое; n – число проб; 1–5 – типы отложений: 1 – пелагические глины; 2 – гемипелагические глины; 3 – терригенные турбидиты; 4 – морские пески; 5 – вулканогенные отложения; 6 – гидротермальные отложения.

Таблица 2. Средние содержания химических элементов в плейстоценовых биогенных отложениях Тихого океана (содержания петрогенных компонентов даны в мас. %, редких элементов – в г/т)

Компонент	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	5.66–45.29/19.62 (n = 74)	2.58–37.30/15.01 (n = 117)	53.60–81.93/72.3 (n = 267)	42.60–71.0/54.86 (n = 158)	54.54	43.98
TiO ₂	0.06–0.70/0.21 (n = 73)	0.01–3.42/0.34 (n = 140)	0.13–0.97/0.48 (n = 241)	0.17–1.57/0.61 (n = 160)	0.58	1.00
Al ₂ O ₃	1.00–14.20/4.29 (n = 74)	0.08–9.90/3.34 (n = 120)	7.65–18.9/13.43 (n = 274)	2.60–15.5/12.25 (n = 158)	11.93	9.79
Fe ₂ O ₃	0.04–5.72/2.0 (n = 92)	0.03–29.12/2.62 (n = 137)	0.29–11.41/2.99 (n = 273)	2.73–10.85/6.79 (n = 158)	5.56	7.68
MnO	0.01–0.70/0.18 (n = 91)	0.01–3.95/0.39 (n = 151)	0.04–1.02/0.12 (n = 90)	0.09–2.88/0.71 (n = 161)	0.50	1.14
MgO	0.08–2.60/1.02 (n = 93)	0.06–3.53/1.27 (n = 133)	0.13–2.93/1.39 (n = 119)	0.66–3.02/3.71 (n = 158)	2.84	3.72
CaO	17.56–50.10/35.85 (n = 75)	17.46–52.76/36.81 (n = 129)	0.23–14.20/2.18 (n = 282)	1.52–13.50/2.42 (n = 159)	Н.о.	Н.о.
Na ₂ O	0.10–3.29/1.13 (n = 68)	0.06–3.65/1.35 (n = 107)	1.16–4.91/3.07 (n = 264)	0.92–2.21/1.55 (n = 150)	3.14	3.96
K ₂ O	0.12–2.30/0.64 (n = 66)	0.01–2.81/0.58 (n = 119)	1.13–4.16/2.59 (n = 267)	0.44–2.27/2.21 (n = 151)	1.78	1.70
P ₂ O ₅	0.02–0.28/0.10 (n = 62)	0.01–0.78/0.12 (n = 79)	0.05–0.30/0.12 (n = 54)	0.06–0.41/0.19 (n = 7)	0.28	0.35
ППП	24.1–28.1/27.50 (n = 9)	21.25–39.98/33.97 (n = 9)	5.59–9.30/7.19 (n = 9)	10.6–18.10/13.48 (n = 143)	Н.о.	Н.о.
Li	5.0–12.50/8.05 (n = 23)	5.0–23.0/9.19 (n = 28)	24.0–76.8/39.60 (n = 13)	52.0–70.20/61.83 (n = 250)	22.38	26.93
Sc	1.26–17.0/5.99 (n = 24)	0.9–10.0/5.41 (n = 19)	2.5–14.7/11.92 (n = 26)	Н.о.	16.65	15.85
V	15.0–137.0/75.23 (n = 19)	11.0–104.0/44.36 (n = 19)	41.0–107/75.18 (n = 11)	Н.о.	209.14	129.97
Cr	10.0–68.0/26.69 (n = 36)	3.0–49.0/19.02 (n = 49)	16.50–84.8/39.69 (n = 34)	32.0–67.0/52.15 (n = 250)	74.20	55.73
Co	2.70–28.0/9.94 (n = 42)	3.5–96.0/18.61 (n = 43)	5.9–40.0/19.41 (n = 34)	56.0–82.0/72.89 (n = 250)	27.63	54.53
Ni	10.0–191.0/80.89 (n = 41)	5.0–194.0/61.41 (n = 46)	12.5–180.0/72.16 (n = 48)	132.0–341.0/192.2 (n = 251)	224.87	179.93
Cu	14.0–318.0/81.97 (n = 38)	14.0–187.8/69.07 (n = 41)	16.0–217.0/99.80 (n = 30)	423.0–673.0/443.83 (n = 250)	227.88	202.38
Zn	38.0–261/156.59 (n = 35)	10.0–225.0/93.29 (n = 51)	71.0–250.0/126.46 (n = 26)	137–170/153.88 (n = 250)	435.32	273.34
Rb	7.0–31.0/15.20 (n = 23)	6.0–72.0/18.08 (n = 36)	45.0–166.0/81.93 (n = 42)	–	42.26	52.97
Ga	–	1.5–5.0/2.44 (n = 20)	Н.о.	Н.о.	–	7.15
As	Н.о.	Н.о.	25.0–189.0/31.84 (n = 26)	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Sr	650.0–2211.0/1338.05 (n = 61)	259–2850/1322.47 (n = 85)	44.0–290/353.39 (n = 44)	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Ba	25.0–3260.0/963.74 (n = 47)	45.54–5892.9/1807.8 (n = 48)	380,0–2252.0/876 (n = 41)	Н.о.	Н.о.	Н.о.

Таблица 2. Окончание

Компонент	1	2	3	4	5	6
Pb	5.0–59.0/26.36 (n = 22)	2.0–36.0/15.43 (n = 36)	19.0–80.0/37.45 (n = 20)	–	73.28	45.21
Mo	1.5–21.0/7.32 (n = 17)	1.5–76.9/16.85 (n = 29)	19.0–125.0/67.45 (n = 11)	Н.о.	20.35	49.37
Y	9.6–31.0/17.93 (n = 8)	6.0–68.0/34.83 (n = 15)	8.0–42.0/22.75 (n = 25)	–	49.85	102.05
Zr	14.0–89.0/50.0 (n = 9)	5.0–310.0/52.10 (n = 29)	42.0–186.0/109.86 (n = 23)	–	139.00	152.65
Cs	1.20–6.80/3.34 (n = 7)	0.6–5.30/2.77 (n = 12)	0.6–5.30/2.48 (n = 16)	–	9.29	8.12
Cd	Н.о.	200.0–1600.0/806.54 (n = 28)	Н.о.	–	Н.о.	2363.16
Sn	3–33/13.27 (n=11)	Н.о	Н.о.	Н.о.	36.89	Н.о.
Sb	0.3–1.70/0.96 (n = 12)	0.30–4.0/1.54 (n = 12)	0.30–4.5/2.06 (n = 16)	Н.о.	2.67	4.51
B	43.0–115.0/86.86 (n = 7)	4.6–145.0/48.23 (n = 19)	Н.о.	Н.о.	241.47	141.31
Nb	–	1.0–4.0/2.50 (n = 11)	6.60–41.40/9.94 (n = 9)	–	–	7.33
La	5.00–22.0/12.0 (n = 24)	3.15–17.2/8.84 (n = 20)	18.40–48.9/14.81 (n = 63)	–	33.36	25.90
Ce	3.47–15.70/9.38 (n = 14)	1.27–15.7/7.20 (n = 13)	42.5–69.6/34.78 (n = 24)	–	26.08	21.10
Pr	Н.о.	3.52–32.59/13.68 (n = 7)	–	–	Н.о.	40.08
Nd	Н.о.	16.41–143.55/60.53 (n = 7)	10.40–20.90/12.43 (n=25)	–	Н.о.	177.35
Sm	0.89–3.50/1.88 (n = 19)	0.6–7.50/2.38 (n = 19)	3.71–5.70/3.59 (n = 25)	–	5.23	6.97
Eu	0.31–2.0/0.64 (n = 9)	0.16–18.0/1.56 (n = 18)	0.75–1.20/0.75 (n = 25)	–	1.78	4.57
Gd	Н.о.	Н.о	3.33–7.18/5.02 (n = 9)	–	Н.о.	Н.о.
Tb	0.24–0.46/0.35 (n = 11)	0.16–17.0/1.58 (n = 17)	0.49–0.83/0.55 (n = 25)	–	0.97	4.63
Yb	0.85–2.60/1.40 (n = 17)	0.61–4.83/1.69 (n = 17)	1.38–3.55/1.67 (n = 25)	–	3.89	4.95
Lu	0.09–0.38/0.22 (n = 11)	0.09–0.98/0.33 (n = 19)	0.20–0.54/0.27 (n = 25)	–	0.61	0.97
Th	–	Н.о.	5.90–10.30/5.0 (n = 25)	–	–	Н.о.
U	–	Н.о.	1.71–2.52/2.91 (n = 25)	–	–	Н.о.

Примечания. Н.о. – не определялся; тире – число проб, меньше 7; ППП – потери при прокаливании; в числителе – колебания значений, в знаменателе – среднее арифметическое; n – число проб; 1–7 – типы отложений: 1 – кокколито-фораминиферовые глины и илы; 2 – кокколито-фораминиферовые глины и илы; 3 – диатомовые глины и илы; 4 – диатомово-радиоляриевые илы и глины; 5 – бкв кокколито-фораминиферовых глины и илов; 6 – бкв кокколито-фораминиферовых глины и илов.

Таблица 3. Коэффициенты сравнения (КС) пар отложений

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	1.0	1.0	1.0	1.0	0.7	1.3	1.2	1.3	Ta	0.5	—	—	0.9	—	—	—	—
TiO ₂	0.9	1.0	1.0	1.4	0.2	0.6	0.6	0.8	Pb	—	—	—	—	7.6	1.7	1.6	—
Al ₂ O ₃	1.2	0.8	0.9	0.7	0.3	1.3	1.2	1.1	Mo	1.9	—	—	0.5	41.5	0.4	0.4	—
Fe ₂ O ₃	1.3	1.0	1.5	0.9	1.5	0.8	0.7	0.4	Y	—	—	—	1.3	0.9	0.5	0.5	—
MnO	3.1	0.6	0.7	1.1	30.2	0.5	0.4	0.2	Zr	1.8	1.2	1.4	0.8	0.2	1.0	0.9	—
MgO	1.0	0.7	0.8	1.0	1.0	0.8	0.7	0.4	Cs	—	—	—	0.9	—	1.2	1.1	—
CaO	0.5	1.0	0.6	2.2	0.6	1.0	—	0.9	Cd	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ O	0.4	0.8	0.9	1.1	0.6	0.8	0.8	2.0	Sb	—	—	—	—	—	0.6	0.6	—
K ₂ O	1.9	1.7	2.6	0.6	1.1	1.1	1.0	1.2	B	—	—	—	—	—	1.8	1.7	—
P ₂ O ₅	1.3	0.8	1.4	0.9	1.2	0.8	0.8	0.6	Nb	1.0	—	—	1.6	—	—	—	—
ППП	—	—	—	1.0	—	0.8	—	0.5	Hf	—	—	—	1.1	—	—	—	—
Li	1.4	—	—	0.8	—	0.9	0.8	0.6	La	2.4	—	—	0.9	0.1	1.4	1.3	—
Sc	1.4	—	—	0.9	—	1.1	1.0	—	Ce	1.7	—	—	0.9	0.1	1.3	1.2	—
Sn	46.4	—	—	—	—	—	—	—	Pr	3.5	—	—	0.9	—	—	—	—
V	0.8	—	—	0.6	0.6	1.7	1.6	—	Nd	4.5	—	—	1.0	—	—	—	—
Cr	0.6	—	—	0.8	0.3	1.4	1.3	0.8	Sm	4.4	—	—	1.1	0.1	0.8	0.7	—
Co	3.8	—	—	1.2	1.7	0.5	0.5	0.3	Eu	5.2	—	—	1.2	0.1	0.4	0.4	—
Ni	3.3	—	—	0.6	2.1	1.3	1.2	0.4	Gd	—	—	—	1.1	—	—	—	—
Cu	7.4	—	—	1.2	1.3	1.3	1.1	0.2	Tb	—	—	—	1.1	0.2	0.2	0.2	—
Zn	1.5	—	—	0.9	1.1	1.7	1.6	0.8	Dy	4.7	—	—	1.2	—	—	—	—
Rb	1.5	1.6	4.1	0.8	0.4	0.8	0.8	—	Ho	2.2	—	—	1.3	—	—	—	—
Ga	1.5	—	—	1.0	0.2	—	—	—	Er	3.9	—	—	1.1	—	—	—	—
As	—	—	—	1.2	—	—	—	—	Tm	—	—	—	1.8	—	—	—	—
Se	0.1	—	—	0.5	—	—	—	—	Yb	3.9	—	—	0.9	0.3	0.8	0.8	—
Sr	0.4	1.2	1.3	0.8	2.4	1.0	—	—	Lu	—	—	—	0.9	0.3	0.7	0.6	—
Ba	1.2	—	—	0.5	3.2	0.5	—	—	Th	—	—	—	0.8	—	—	—	—
									U	—	—	—	0.7	—	—	—	—

Примечания. Н.о. — не определялся; тире — число проб, меньше 7; ППП — потери при прокаливании. 1 — пелагические глины / гемипелагические глины; 2 — терригенные турбидиты / гемипелагические глины; 3 — терригенные турбидиты / морские пески; 4 — вулканогенные отложения / гемипелагические глины; 5 — гидротермальные отложения / вулканогенные отложения; 6 — кокколитоидные осадки / кокколитоидно-фораминиферовые осадки; 7 — кокколитоидные осадки / кокколитоидно-фораминиферовые осадки (КС для бескарбонатного вещества); 8 — диатомовые осадки / диатомово-радиоляриевые осадки.

Отсюда следует, что в своей основе группу гемипелагических глин в плейстоцене Тихого океана в принципе можно отнести к вулcano-терригенным отложениям.

Океанические гидротермальные и гидротермально-измененные осадки наиболее развиты именно в Тихом океане. Они распространены в Калифорнийском заливе, Галапагосском рифте, на Восточно-Тихоокеанском поднятии (ВТП) и в депрессии Бауэр, в котловине Лау, в трог Окинава и во многих других районах. К сожалению, не удалось получить представление об их объемах

и массах по данным глубоководного бурения. Огромные площади развития металлоносных осадков на ВТП описаны только для голоцена и верхов плейстоцена [Лисицын и др., 1976; Деков, 1994].

Анализ КС, рассчитанных по отношениям содержаний химических компонентов в гидротермальных отложениях к содержаниям в вулканогенных отложениях, выявил, что КС от 0.7 до 1.4, свидетельствующие о примерно одинаковой концентрации, характеризуют лишь MgO, K₂O, P₂O₅; Cu, Zn и Y. Обогащение вулканогенных осадков (КС менее 0.7) отмечено для SiO₂, TiO₂,

Al_2O_3 , CaO , Na_2O ; V, Cr, Rb, Ga, Zr и PЗЭ. В свою очередь гидротермальные отложения слабо обогащены (КС от 1.4 до 2.0) Fe_2O_3 и Co, а заметное обогащение (КС больше 2.0) характерно для MnO (30.2!), Ni, Sr, Mo (41.5!), Ba и Pb.

КС в кокколитовых илах и глинах по отношению к кокколитово-фораминиферовым илам и глинам показали их существенное сходство (КС от 0.7 до 1.4) по большому числу химических компонентов (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO, CaO, Na_2O , K_2O , P_2O_5 , ППП (потеря при прокаливании); Li, Sc, Cr, Ni, Cu, Rb, Sr, Zr, Cs, Ce, Sm, Yb). КС менее 0.7 характерны для TiO_2 , MnO; Co, Ba, Mo, Y, Sb, La, Eu, Tb, Lu. Некоторое обогащение кокколитовых илов и глин (КС от 1.4 до 2.0) выявлено для V, Zn, Pb, В. Более заметное обогащение (КС больше 2.0) – не отмечено совсем. Естественно, что при практически одинаковой карбонатности средних составов обеих основных групп планктоногенных карбонатов КС бескарбонатного вещества (бкв) этих групп по сути дела не отличаются от КС натуральных осадков (см. табл. 3). При этом данные по ППП, Sr, Ba из расчетов были, естественно, исключены.

По указанным выше причинам КС для карбонатно-обломочных и бентогенных карбонатов по отношению к планктоногенным карбонатам не рассчитывались. Отметим только, судя по данным для Индийского океана [Левитан и др., 2023], явное обогащение первого типа отложений по отношению ко второму CaO и Sr, и – в меньшей степени – MgO.

Для биогенных кремнистых осадков плейстоцена Тихого океана рассмотрим КС в диатомовых

илах и глинах по отношению к диатомово-радиоляриевым отложениям. Близкие КС (от 0.7 до 1.4) рассчитаны для SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , CaO, K_2O ; Cr и Zn. При этом нельзя не отметить, что содержание SiO_2 (в мас. %) в диатомовых осадках существенно выше, чем в диатомово-радиоляриевых (72.30 и 54.86 соответственно, см. табл. 2). Диатомово-радиоляриевые отложения обогащены (КС менее 0.7) Fe_2O_3 , MnO, MgO, P_2O_5 , ППП; Li, Co, Ni, Cu. Представляется, что для объяснения такого явления следует иметь в виду два обстоятельства: 1) вышеуказанное относительно низкое содержание SiO_2 (за счет биогенного опала) и 2) приуроченность большинства проб этих осадков к зоне Кларифон-Клиппертон с повышенной первичной продукцией и развитием железо-марганцевых конкреций. Только для Na_2O известен повышенный КС (2.0).

Нормализуем литогенное вещество по PAAS (постархейским австралийским глинистым сланцам) [Тейлор, Мак-Леннан, 1988] (рис. 2). Анализ полученных данных показал, что в принципе гемипелагические глины и вулканогенные отложения довольно близки по составу к PAAS. При этом указанные отложения заметно обогащены CaO и Na_2O , и обеднены Cr. Относительно них (и PAAS) пелагические глины обогащены MnO, Co, Ni, Cu. Гидротермальные отложения сравнительно с PAAS имеют существенно более высокие содержания MnO (!), CaO, Na_2O ; Ni и Pb (!), а явно обеднены – Al_2O_3 , Fe_2O_3 ; Cr, Ga, Zr, Yb. Бескарбонатное вещество планктоногенных карбонатов достаточно близко по составу к PAAS.

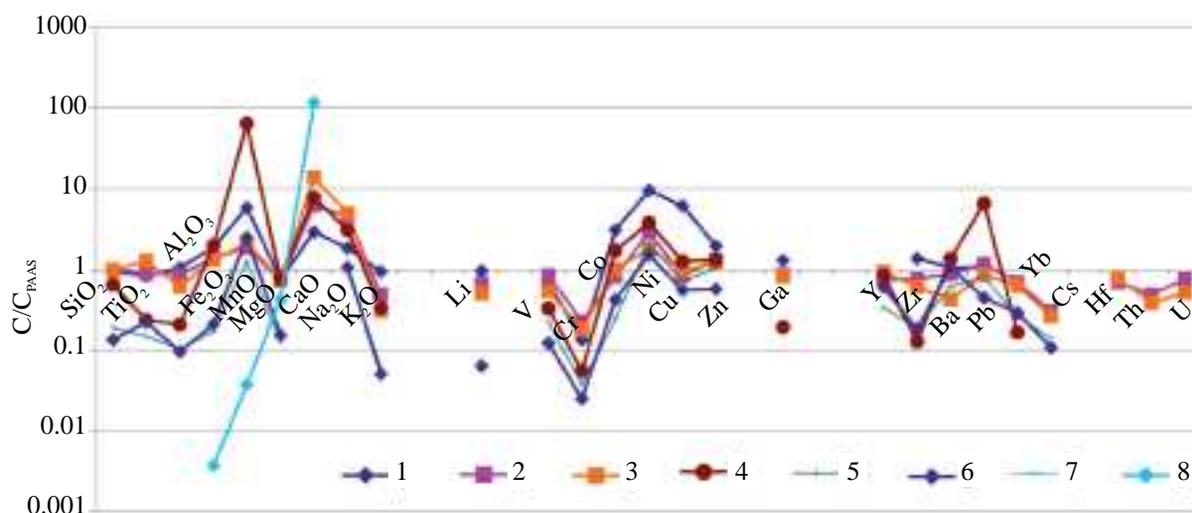


Рис. 2. Спайдер-диаграмма химического состава плейстоценовых осадков по отношению к составу PAAS.

1 – пелагические глины; 2 – гемипелагические глины; 3 – вулканогенные отложения; 4 – гидротермальные отложения; 5 – бескарбонатное вещество (бкв) кокколитовых илов и глин; 6 – бескарбонатное вещество (бкв) кокколитово-фораминиферовых илов и глин; 7 – диатомовые илы и глины; 8 – диатомово-радиоляриевые илы и глины.

В целом считаем необходимым указать на обеднение всех исследованных плейстоценовых отложений Тихого океана C_r относительно PAAS. Вероятнее всего, это явление связано с господством окислительных условий седиментации на большей части площади дна Тихого океана [Brugmann et al., 2023], а также с огромными размерами областей с самыми низкими скоростями седиментации.

Отдельно рассмотрим результаты нормализации на PAAS PЗЭ (рис. 3а, 3б). Гемипелагические глины и вулканогенные отложения по составу очень близки к PAAS. При этом легкими PЗЭ (La, Ce, Pr, Nd) и частью тяжелых (Yb, Lu) они несколько обеднены по сравнению с PAAS, а по остальным (кроме Tm) имеют практически тот же

состав. Пелагические глины заметно обогащены PЗЭ (за исключением Ce), что можно связать с фракцией фосфатов [Ren et al., 2022], а гидротермальные отложения столь же сильно обеднены. Обогащение пелагических глин PЗЭ (и Y) неоднократно фиксировалось в литературе и для других океанов [Дубинин, Розанов, 2001; Дубинин, Римская-Корсакова, 2011; Yasukawa et al., 2015]. Это дает основание для поиска в Мировом океане участков глубоководных котловин с достаточно высокими концентрациями PЗЭ в осадках с точки зрения практического использования в будущем.

Для карбонатных осадков, скорее всего, характерна хорошо выраженная отрицательная Ce-аномалия и слабее проявленная отрицательная

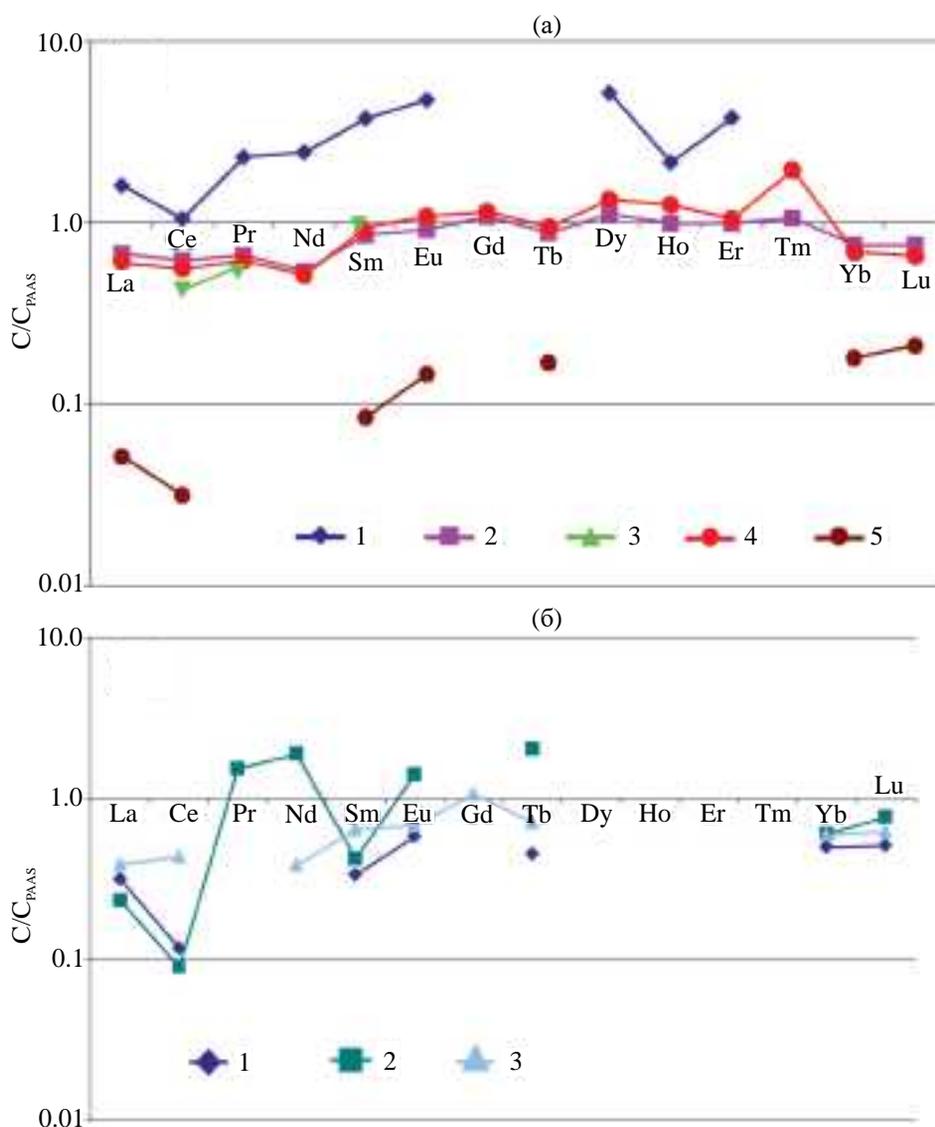


Рис. 3. Спайдер-диаграмма состава редкоземельных элементов по отношению к составу PAAS. а – в ряде литогенных осадков плейстоцена (1 – пелагические глины, 2 – гемипелагические глины, 3 – морские пески, 4 – вулканогенные отложения, 5 – гидротермальные отложения); б – в биогенных осадках (1 – кокколитовые илы и глины, 2 – кокколитово-фораминиферовые илы и глины, 3 – диатомовые илы и глины).

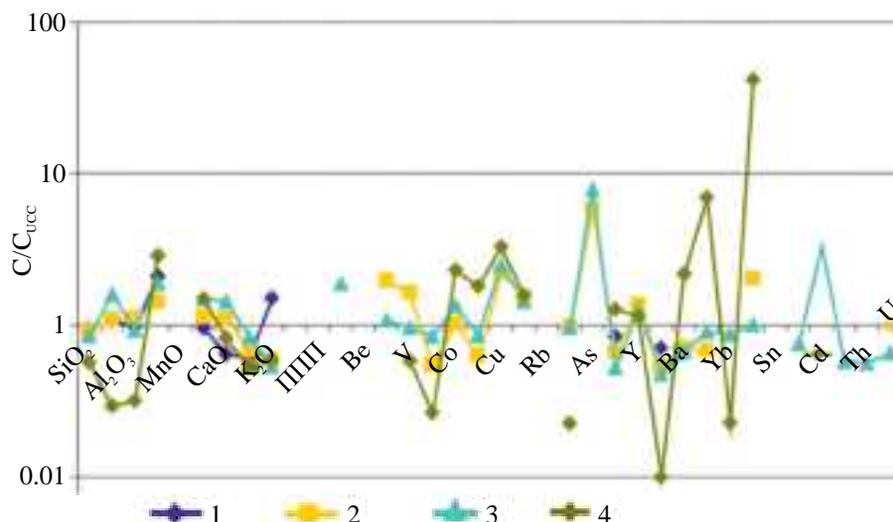


Рис. 4. Спайдер-диаграмма химического состава плейстоценовых осадков по отношению к составу UCC. 1 – терригенные турбидиты; 2 – морские пески; 3 – вулканогенные отложения; 4 – гидротермальные отложения.

Sm-аномалия. Диатомовые илы заметно отличаются от карбонатных по отношениям к PAAS содержаниям Ce, Nd, Tb.

Состав более крупнозернистых литогенных осадков, а также гидротермальных отложений был нормирован на состав UCC (верхней континентальной коры) [Rudnick, Gao, 2003] (рис. 4). Полученные данные свидетельствуют о том, что морские пески, терригенные турбидиты и вулканогенные отложения в целом отвечают составу UCC. Гидротермальные отложения, напротив, резко отличаются от UCC: они явно обогащены Fe₂O₃, Co, Cu, Ba, Pb (в 6.9 раз) и Mo (в 41.7 раз!); обеднены TiO₂, Al₂O₃, Cr, Ga, Zr (наиболее сильно) и Yb.

Результаты применения методов математической статистики. Для корреляционного анализа были использованы компоненты химического состава (оксиды петрогенных элементов, а также некоторые микроэлементы) в тех типах отложений, которые полностью охарактеризованы этими компонентами.

Корреляционная матрица (табл. 4) охватывает все типы плейстоценовых отложений Тихого океана за исключением гидротермальных. По результатам ее анализа представляется возможным указать на четыре главные геохимические ассоциации: 1) кремнисто-литогенную (SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, Na₂O, K₂O; Sr); 2) алюмосиликатную (TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, Na₂O, K₂O; Sr, V, Sc, Cr, Zn, Rb, Ba, Pb, Zr, Nb, Ce, Pr, Nd); 3) марганцевую (MnO, P₂O₅; Li, Co, Ni, Cu); 4) карбонатную (CaO, ППП; As, Se, Mo, Ta, Y).

На основе табл. 1, 2 и, особенно, табл. 4 мы провели факторный анализ в разновидности главных компонент с варимаксным вращением. В результате были выделены три основных фактора; в сумме их коэффициенты вариации составляют 93.223%. В первом факторе (коэффициент вариации равен 68.989%) положительную нагрузку несут в основном SiO₂, Fe₂O₃, а также MgO, Na₂O, K₂O, а отрицательную – CaO (рис. 5). Коэффициент вариации второго фактора равен 16.694%. В нем основная положительная нагрузка приходится на MnO, а отрицательная – на Na₂O. В третьем факторе (коэффициент вариации равен 7.540%) относительно небольшие положительные нагрузки приходятся на K₂O и Fe₂O₃. Примерно такой же величины отрицательная факторная нагрузка характеризует MnO. Можно предположить, что первый фактор основан на подавляющей части литогенного материала, а также на биогенном (карбонатном, прежде всего, и кремнистом) веществе. Второй фактор учитывает роль гидрогенного процесса. Третий фактор, как представляется, может быть обусловлен ролью сноса осадочного материала с океанических островов в пелагические глины. Вероятно, интерпретация третьего фактора требует дополнительных исследований.

Средневзвешенный химический состав

Для расчета средневзвешенного химического состава требуется умножить массы сухого осадочного вещества основных типов плейстоценовых отложений Тихого океана на их средний арифметический химический состав и разделить на 100. Масса сухого осадочного вещества (в 10¹⁸ г) пелагических глин – 541.3, гемипелагических

Таблица 4. Коэффициенты корреляции Пирсона

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ППП	Li	Sc	V	Cr	Co	Ni
SiO ₂	1.00	0.66	0.74	0.52	-0.21	0.50	-0.96	0.69	0.59	0.33	-0.90	0.34	0.32	0.37	0.31	-0.16	0.05
TiO ₂	0.66	1.00	0.66	0.74	-0.13	0.76	-0.73	0.66	0.40	0.50	-0.68	0.29	0.37	0.53	0.60	-0.36	-0.10
Al ₂ O ₃	0.74	0.66	1.00	0.86	-0.03	0.69	-0.85	0.34	0.79	0.73	-0.88	0.55	0.63	0.70	0.52	-0.25	0.06
Fe ₂ O ₃	0.52	0.74	0.86	1.00	0.11	0.79	-0.71	0.17	0.82	0.84	-0.78	0.48	0.35	0.50	0.49	-0.25	0.08
MnO	-0.21	-0.13	-0.03	0.11	1.00	0.44	0.01	-0.63	0.02	0.51	0.18	0.58	-0.25	-0.09	0.33	0.85	0.91
MgO	0.50	0.76	0.69	0.79	0.44	1.00	-0.70	0.20	0.42	0.80	-0.56	0.68	0.27	0.58	0.85	0.19	0.48
CaO	-0.96	-0.73	-0.85	-0.71	0.01	-0.70	1.00	-0.56	-0.69	-0.56	0.93	-0.50	-0.33	-0.46	-0.48	0.07	-0.20
Na ₂ O	0.69	0.66	0.34	0.17	-0.63	0.20	-0.56	1.00	0.06	-0.10	-0.48	-0.03	0.30	0.35	0.30	-0.53	-0.45
K ₂ O	0.59	0.40	0.79	0.82	0.02	0.42	-0.69	0.06	1.00	0.68	-0.85	0.38	0.17	0.15	0.04	-0.21	0.05
P ₂ O ₅	0.33	0.50	0.73	0.84	0.51	0.80	-0.56	-0.10	0.68	1.00	-0.54	0.84	0.21	0.38	0.62	0.19	0.47
ППП	-0.90	-0.68	-0.88	-0.78	0.18	-0.56	0.93	-0.48	-0.85	-0.54	1.00	-0.36	-0.36	-0.39	-0.25	0.28	0.01
Li	0.34	0.29	0.55	0.48	0.58	0.68	-0.50	-0.03	0.38	0.84	-0.36	1.00	0.19	0.33	0.69	0.49	0.67
Sc	0.32	0.37	0.63	0.35	-0.25	0.27	-0.33	0.30	0.17	0.21	-0.36	0.19	1.00	0.88	0.39	-0.41	-0.27
V	0.37	0.53	0.70	0.50	-0.09	0.58	-0.46	0.35	0.15	0.38	-0.39	0.33	0.88	1.00	0.72	-0.27	-0.07
Cr	0.31	0.60	0.52	0.49	0.33	0.85	-0.48	0.30	0.04	0.62	-0.25	0.69	0.39	0.72	1.00	0.18	0.39
Co	-0.16	-0.36	-0.25	-0.25	0.85	0.19	0.07	-0.53	-0.21	0.19	0.28	0.49	-0.41	-0.27	0.18	1.00	0.94
Ni	0.05	-0.10	0.06	0.08	0.91	0.48	-0.20	-0.45	0.05	0.47	0.01	0.67	-0.27	-0.07	0.39	0.94	1.00
Cu	-0.09	-0.18	0.34	0.26	0.55	0.20	-0.04	-0.59	0.36	0.59	-0.12	0.64	0.30	0.16	0.12	0.43	0.49
Zn	0.42	0.48	0.77	0.52	-0.16	0.41	-0.47	0.33	0.37	0.49	-0.51	0.47	0.92	0.82	0.50	-0.35	-0.17
Rb	0.39	0.58	0.71	0.88	-0.22	0.42	-0.51	0.18	0.85	0.61	-0.72	0.15	0.23	0.26	0.11	-0.55	-0.29
As	-0.89	-0.84	-0.85	-0.80	-0.01	-0.80	0.97	-0.54	-0.66	-0.59	0.90	-0.45	-0.35	-0.53	-0.56	0.13	-0.17
Se	-0.72	-0.77	-0.79	-0.81	0.01	-0.81	0.83	-0.38	-0.60	-0.58	0.82	-0.37	-0.32	-0.56	-0.56	0.11	-0.17
Sr	0.56	0.67	0.58	0.61	-0.62	0.30	-0.55	0.64	0.50	0.13	-0.66	-0.23	0.34	0.43	0.14	-0.80	-0.59
Mo	-0.62	-0.74	-0.66	-0.76	-0.02	-0.79	0.74	-0.32	-0.52	-0.51	0.73	-0.27	-0.18	-0.46	-0.52	0.08	-0.18
Ba	0.27	0.44	0.80	0.68	-0.01	0.53	-0.41	0.14	0.47	0.68	-0.46	0.55	0.79	0.82	0.60	-0.30	-0.07
Ta	-0.65	-0.78	-0.73	-0.82	-0.18	-0.83	0.79	-0.28	-0.61	-0.58	0.75	-0.28	-0.25	-0.48	-0.50	0.09	-0.22

Таблица 4. Продолжение

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ППП	Li	Sc	V	Cr	Co	Ni
Pb	0.30	0.60	0.75	0.66	-0.13	0.59	-0.42	0.34	0.32	0.59	-0.43	0.47	0.80	0.88	0.70	-0.41	-0.18
Y	-0.81	-0.53	-0.68	-0.61	-0.23	-0.56	0.87	-0.34	-0.74	-0.58	0.79	-0.52	-0.06	-0.13	-0.27	-0.09	-0.33
Zr	0.43	0.60	0.85	0.90	-0.16	0.50	-0.56	0.15	0.82	0.65	-0.75	0.24	0.56	0.54	0.24	-0.52	-0.24
Nb	0.25	0.71	0.51	0.51	-0.20	0.51	-0.31	0.48	0.11	0.45	-0.32	0.39	0.65	0.67	0.63	-0.41	-0.26
Hf	-0.08	0.39	-0.04	0.03	-0.29	0.16	0.08	0.53	-0.33	0.06	0.17	0.13	0.12	0.25	0.49	-0.36	-0.35
Ce	0.27	0.55	0.80	0.74	0.04	0.60	-0.42	0.11	0.48	0.72	-0.49	0.54	0.79	0.80	0.59	-0.29	-0.05
Pr	0.15	0.29	0.71	0.64	0.19	0.42	-0.30	-0.18	0.56	0.71	-0.43	0.55	0.70	0.59	0.34	-0.13	0.07
Nd	0.13	0.27	0.68	0.69	0.28	0.46	-0.30	-0.24	0.63	0.81	-0.44	0.65	0.53	0.44	0.33	-0.03	0.17
	Cu	Zn	Rb	As	Se	Sr	Mo	Ba	Ta	Pb	Y	Zr	Nb	Hf	Ce	Pr	Nd
SiO ₂	-0.09	0.42	0.39	-0.89	-0.72	0.56	-0.62	0.27	-0.65	0.30	-0.81	0.43	0.25	-0.08	0.27	0.15	0.13
TiO ₂	-0.18	0.48	0.58	-0.84	-0.77	0.67	-0.74	0.44	-0.78	0.60	-0.53	0.60	0.71	0.39	0.55	0.29	0.27
Al ₂ O ₃	0.34	0.77	0.71	-0.85	-0.79	0.58	-0.66	0.80	-0.73	0.75	-0.68	0.85	0.51	-0.04	0.80	0.71	0.68
Fe ₂ O ₃	0.26	0.52	0.88	-0.80	-0.81	0.61	-0.76	0.68	-0.82	0.66	-0.61	0.90	0.51	0.03	0.74	0.64	0.69
MnO	0.55	-0.16	-0.22	-0.01	0.01	-0.62	-0.02	-0.01	-0.18	-0.13	-0.23	-0.16	-0.20	-0.29	0.04	0.19	0.28
MgO	0.20	0.41	0.42	-0.80	-0.81	0.30	-0.79	0.53	-0.83	0.59	-0.56	0.50	0.51	0.16	0.60	0.42	0.46
CaO	-0.04	-0.47	-0.51	0.97	0.83	-0.55	0.74	-0.41	0.79	-0.42	0.87	-0.56	-0.31	0.08	-0.42	-0.30	-0.30
Na ₂ O	-0.59	0.33	0.18	-0.54	-0.38	0.64	-0.32	0.14	-0.28	0.34	-0.34	0.15	0.48	0.53	0.11	-0.18	-0.24
K ₂ O	0.36	0.37	0.85	-0.66	-0.60	0.50	-0.52	0.47	-0.61	0.32	-0.74	0.82	0.11	-0.33	0.48	0.56	0.63
P ₂ O ₅	0.59	0.49	0.61	-0.59	-0.58	0.13	-0.51	0.68	-0.58	0.59	-0.58	0.65	0.45	0.06	0.72	0.71	0.81
ППП	-0.12	-0.51	-0.72	0.90	0.82	-0.66	0.73	-0.46	0.75	-0.43	0.79	-0.75	-0.32	0.17	-0.49	-0.43	-0.44
Li	0.64	0.47	0.15	-0.45	-0.37	-0.23	-0.27	0.55	-0.28	0.47	-0.52	0.24	0.39	0.13	0.54	0.55	0.65
Sc	0.30	0.92	0.23	-0.35	-0.32	0.34	-0.18	0.79	-0.25	0.80	-0.06	0.56	0.65	0.12	0.79	0.70	0.53
V	0.16	0.82	0.26	-0.53	-0.56	0.43	-0.46	0.82	-0.48	0.88	-0.13	0.54	0.67	0.25	0.80	0.59	0.44
Cr	0.12	0.50	0.11	-0.56	-0.56	0.14	-0.52	0.60	-0.50	0.70	-0.27	0.24	0.63	0.49	0.59	0.34	0.33
Co	0.43	-0.35	-0.55	0.13	0.11	-0.80	0.08	-0.30	0.09	-0.41	-0.09	-0.52	-0.41	-0.36	-0.29	-0.13	-0.03

Таблица 4. Окончание

	Cu	Zn	Rb	As	Se	Sr	Mo	Ba	Ta	Pb	Y	Zr	Nb	Hf	Ce	Pr	Nd
Ni	0.49	-0.17	-0.29	-0.17	-0.17	-0.59	-0.18	-0.07	-0.22	-0.18	-0.33	-0.24	-0.26	-0.35	-0.05	0.07	0.17
Cu	1.00	0.45	0.10	0.01	-0.03	-0.47	0.08	0.49	0.04	0.27	-0.13	0.29	0.14	-0.35	0.52	0.78	0.82
Zn	0.45	1.00	0.39	-0.46	-0.40	0.33	-0.23	0.91	-0.28	0.89	-0.26	0.66	0.77	0.24	0.91	0.83	0.73
Rb	0.0	0.39	1.00	-0.58	-0.61	0.74	-0.57	0.55	-0.61	0.52	-0.45	0.92	0.38	0.04	0.59	0.53	0.58
As	0.01	-0.46	-0.58	1.00	0.91	-0.63	0.84	-0.45	0.90	-0.49	0.80	-0.63	-0.39	0.02	-0.49	-0.32	-0.31
Se	-0.03	-0.40	-0.61	0.91	1.00	-0.62	0.98	-0.46	0.88	-0.51	0.54	-0.65	-0.39	0.05	-0.51	-0.33	-0.33
Sr	-0.47	0.33	0.74	-0.63	-0.62	1.00	-0.60	0.36	-0.62	0.46	-0.33	0.69	0.36	0.20	0.35	0.11	0.05
Mo	0.08	-0.23	-0.57	0.84	0.98	-0.60	1.00	-0.33	0.88	-0.40	0.45	-0.57	-0.32	0.04	-0.40	-0.20	-0.21
Ba	0.49	0.91	0.55	-0.45	-0.46	0.36	-0.33	1.00	-0.36	0.95	-0.22	0.76	0.72	0.27	0.97	0.88	0.82
Ta	0.04	-0.28	-0.61	0.90	0.88	-0.62	0.88	-0.36	1.00	-0.39	0.68	-0.64	-0.25	0.16	-0.44	-0.28	-0.28
Pb	0.27	0.89	0.52	-0.49	-0.51	0.46	-0.40	0.95	-0.39	1.00	-0.15	0.71	0.86	0.48	0.94	0.75	0.68
Y	-0.13	-0.26	-0.45	0.80	0.54	-0.33	0.45	-0.22	0.68	-0.15	1.00	-0.43	-0.06	0.22	-0.23	-0.24	-0.30
Zr	0.29	0.66	0.92	-0.63	-0.65	0.69	-0.57	0.76	-0.64	0.71	-0.43	1.00	0.51	-0.03	0.81	0.76	0.74
Nb	0.14	0.77	0.38	-0.39	-0.39	0.36	-0.32	0.72	-0.25	0.86	-0.06	0.51	1.00	0.70	0.79	0.58	0.53
Hf	-0.35	0.24	0.04	0.02	0.05	0.20	0.04	0.24	0.16	0.48	0.22	-0.03	0.70	1.00	0.24	-0.04	-0.03
Ce	0.52	0.91	0.59	-0.49	-0.51	0.35	-0.40	0.97	-0.44	0.94	0.23	0.81	0.79	0.24	1.00	0.92	0.87
Pr	0.78	0.83	0.53	-0.32	-0.33	0.11	-0.20	0.88	-0.28	0.75	-0.24	0.76	0.58	-0.04	0.92	1.00	0.97
Nd	0.82	0.73	0.58	-0.31	-0.33	0.05	-0.21	0.82	-0.28	0.68	-0.30	0.74	0.53	-0.03	0.87	0.97	1.00

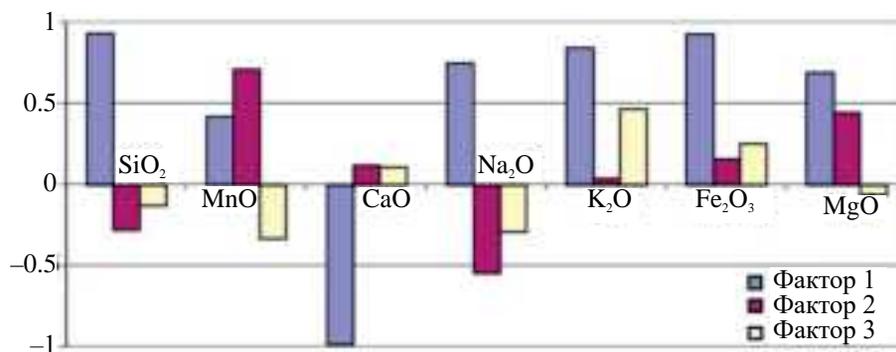


Рис. 5. Результаты факторного анализа.

глин – 1463.6, терригенных турбидитов – 621.6, морских песков – 218.0, вулканогенных отложений – 18.6, кокколитовых илов и глин – 366.8, кокколито-фораминиферовые илов и глин – 310.1, бентогенных карбонатов и карбонатно-обломочных отложений – 110.1, карбонатных турбидитов – 22.5, диатомовых илов и глин – 117.7, диатомово-радиоляриевых илов и глин – 84.0 [Левитан, 2021]. Их средний арифметический химический состав приведен выше в табл. 1 и 2.

Результаты расчета средневзвешенных химических составов (в 10^{18} г) раздельно для литогенных отложений (без гидротермального вещества) и для биогенных отложений приведены соответственно в табл. 5 и 6. Полученные данные позволили составить первые представления о массах химических компонентов в плейстоценовом стратоне Тихого океана (в 10^{18} г): SiO₂ – 1910.85, TiO₂ – 23.15, Al₂O₃ – 610.03, Fe₂O₃ – 298.46, MnO – 8.22, MgO – 92.83, CaO – 394.22, Na₂O – 85.00, K₂O – 117.84, P₂O₅ – 6.37, ППП – 375.01.

Приведенные результаты требуют комментариев. Только данные по Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO являются полностью валидными. Остальные значения получены без учета отсутствующих данных по бентогенным карбонатам и карбонатно-обломочным отложениям, а также по карбонатным турбидитам. В указанных типах карбонатных отложений среднее содержание CaCO₃ заметно превышает 90%, поэтому приведенные результаты практически очень близки к истинным (за исключением ППП). Минимальные массы (в 10^{18} г) ряда редких элементов составляют: Li – 0.130, V – 0.398, Cr – 0.196, Co – 0.089, Ni – 0.278, Cu – 0.409, Zn – 0.394, Sr – 1.965, Ba – 2.731, Zr – 0.429.

По массам петрогенных оксидов можно рассчитать средний арифметический химический состав плейстоценовых отложений Тихого океана, разделив приведенные в данном разделе результаты на общую сухую массу плейстоцена

(3874.3×10^{18} г [Левитан, 2021]). В итоге получается следующий состав (в мас. %): SiO₂ – 49.32, TiO₂ – 0.60, Al₂O₃ – 15.75, Fe₂O₃ – 7.70, MnO – 0.21, MgO – 2.40, CaO – 10.18, Na₂O – 2.19, K₂O – 3.04, P₂O₅ – 0.16. При этом на долю ППП приходится 8.45 мас. %.

Все показанные в табл. 5 и 6 содержания оксидов петрогенных элементов для типов осадков пересчитаны на %, исходя из общей суммы для каждого компонента, равной 100%. При рассмотрении структуры распределения масс компонентов в осадках (в %) намечаются четыре основных тренда (рис. 6).

По первому тренду распределяются SiO₂, TiO₂, Na₂O, K₂O. Это обусловлено, главным образом, рядом уменьшающихся масс сухого вещества основных типов литогенных отложений, приведенных в начале настоящего параграфа. Здесь на первом месте расположены массы гемипелагических глин, на втором – терригенных турбидитов, на третьем – пелагических глин, на четвертом – морских песков.

Второй тренд представлен распределением Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, P₂O₅. В этом случае также действует в основном уменьшение масс типов литогенных отложений, но на первом месте расположены массы гемипелагических глин, на втором – пелагических глин, на третьем – терригенных турбидитов, на четвертом – морских песков.

Отдельный тренд характеризует распределение MnO, в котором на первом месте находятся его массы в пелагических глинах, на втором – в гемипелагических глинах, на третьем – в кокколито-фораминиферовых илах и глинах, а на четвертом – в кокколитовых илах и глинах. Стоит отметить повышенную массу MnO в диатомово-радиоляриевых илах. Таким образом, наряду с массами основных типов плейстоценовых отложений важную роль играет и содержание в них MnO.

Таблица 5. Средний взвешенный химический состав плейстоценовых литогенных отложений Тихого океана (массы химических компонентов даны в 10^{18} г)

Компонент	1	2	3	4	5	Компонент	1	2	3	4	5
SiO ₂	164.96	467.86	215.27	74.04	5.88	Ta	0.0001	0.0006	Н.о.	—	0.00001
TiO ₂	2.03	5.89	2.43	0.87	0.11	Re	Н.о.	0.013	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Al ₂ O ₃	74.21	163.53	51.78	20.64	1.48	Ge	Н.о.	0.001	Н.о.	Н.о.	0.00002
Fe ₂ O ₃	36.83	74.32	33.06	7.82	0.89	Pb	0.006	0.017	—	0.002	0.0001
MnO	1.42	1.23	0.31	0.16	0.02	Mo	0.002	0.003	Н.о.	0.0006	0.00002
MgO	9.95	25.84	7.36	3.06	0.34	Y	—	0.018	—	0.003	0.0003
CaO	3.90	22.40	9.37	5.70	0.63	Zr	0.061	0.092	0.046	0.012	0.001
Na ₂ O	3.69	24.53	8.30	3.23	0.34	Cs	Н.о.	0.003	Н.о.	—	0.00004
K ₂ O	16.84	23.79	17.57	2.37	0.19	Cd	0.049	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0.003
P ₂ O ₅	0.75	1.55	0.52	0.13	0.02	Sb	Н.о.	0.002	Н.о.	—	—
ППП	—	72.28	—	10.03	0.94	B	Н.о.	0.070	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Li	0.022	0.041	Н.о.	—	0.001	Nb	0.003	0.009	—	0.0006	0.0002
Sc	0.012	0.025	Н.о.	0.006	0.0003	Hf	Н.о.	0.002	Н.о.	—	0.00003
Sn	0.007	0.003	—	—	Н.о.	La	0.018	0.021	Н.о.	—	0.0002
V	0.040	0.132	—	0.021	0.001	Ce	0.025	0.040	Н.о.	0.004	0.0004
Cr	0.016	0.073	—	0.006	0.001	Pr	0.006	0.005	Н.о.	0.0006	0.0001
Co	0.012	0.009	—	0.001	0.0001	Nd	0.023	0.014	Н.о.	—	0.0002
Ni	0.061	0.050	—	0.003	0.0006	Sm	0.006	0.004	Н.о.	0.0006	0.0001
Cu	0.121	0.044	—	0.007	0.0006	Eu	0.002	0.0006	Н.о.	—	0.00001
Zn	0.050	0.092	—	0.013	0.001	Gd	—	0.004	Н.о.	Н.о.	0.00006
Rb	0.037	0.069	0.047	0.004	0.0006	Tb	—	0.0006	Н.о.	—	0.00001
Ga	0.008	0.014	Н.о.	0.002	0.0002	Dy	0.007	0.004	Н.о.	Н.о.	0.00006
As	Н.о.	0.008	—	0.001	0.0001	Ho	0.0006	0.0006	Н.о.	Н.о.	0.00001
Se	0.0001	0.002	Н.о.	Н.о.	0.00001	Er	0.003	0.002	Н.о.	—	0.00006
Br	Н.о.	0.018	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Tm	Н.о.	0.0006	Н.о.	Н.о.	0.00001
Sr	0.033	0.201	0.103	0.028	0.002	Yb	0.002	0.002	Н.о.	—	0.00002
Mo	0.002	Н.о.	Н.о.	0.0006	Н.о.	Lu	—	0.0003	Н.о.	—	0.00001
Ba	0.279	0.627	—	0.047	0.004	Th	Н.о.	0.006	Н.о.	—	0.00006
						U	Н.о.	0.002	Н.о.	0.0006	0.00002

Примечания. Н.о. — не определялся; тире — число проб, меньшее 7; ППП — потери при прокаливании; *n* — число проб; 1–5 — типы отложений: 1 — пелагические глины; 2 — гемипелагические глины; 3 — терригенные турбидиты; 4 — морские пески; 5 — вулканогенные отложения.

Наконец, четвертый тренд представлен распределением CaO, где первые три места занимают основные типы карбонатных отложений в соответствии с их массами: 1) кокколитовые илы и глины; 2) кокколито-фораминиферовые илы и глины; 3) бентогенные карбонаты и карбонатно-обломочные отложения.

Средние скорости накопления химических элементов

Этот параметр необходим для сравнительных анализов плейстоценовых отложений Тихого

океана как с другими океанами внутри плейстоценового стратона, так и с отложениями иных стратиграфических подразделений внутри осадочного чехла Мирового океана. Поскольку для нашей базы данных был выбран именно плейстоцен, продолжительность которого по “старой” шкале [Gradstein et al., 2004] равна 1.79 млн лет, то величины в нижеследующих табл. 7 и 8 получаются при делении соответствующих значений табл. 5 и 6 на 1.79 млн лет. Естественно, что структуры табл. 7 и 8 точно повторяют структуры табл. 5 и 6, поэтому ниже отдельные описания табл. 7 и 8 не даются.

Таблица 6. Средний взвешенный химический состав плейстоценовых биогенных отложений Тихого океана (массы химических компонентов даны в 10^{18} г)

Компонент	1	2	3	4	5	6	Компонент	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	40.21	26.01	47.54	25.74	Н.о.	Н.о.	Ba	0.197	0.313	0.058	Н.о.	Н.о.	Н.о.
TiO ₂	0.43	0.59	0.31	0.28	Н.о.	Н.о.	Pb	0.006	0.003	0.002	–	Н.о.	Н.о.
Al ₂ O ₃	8.79	5.79	8.83	5.75	Н.о.	Н.о.	Mo	0.002	0.003	0.004	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Fe ₂ O ₃	4.10	4.54	1.97	3.18	0.02	0.003	Y	0.004	0.006	0.002	–	–	–
MnO	0.37	0.68	0.08	0.34	0.002	0.0006	Zr	0.010	0.009	0.007	–	–	–
MgO	2.09	2.20	0.92	1.74	1.15	0.23	Cs	0.0006	0.0006	0.0002	–	Н.о.	Н.о.
CaO	73.46	63.77	1.44	1.13	31.91	6.52	Cd	Н.о.	0.140	Н.о.	–	Н.о.	Н.о.
Na ₂ O	2.31	2.34	2.02	0.73	Н.о.	Н.о.	Sn	0.003	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
K ₂ O	1.31	1.01	1.70	1.04	Н.о.	Н.о.	Sb	0.0002	0.0003	0.0001	Н.о.	Н.о.	Н.о.
P ₂ O ₅	0.21	0.21	0.08	0.09	Н.о.	Н.о.	B	0.018	0.008	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
ППП	56.35	58.85	4.73	6.32	Н.о.	Н.о.	Nb	–	0.0006	0.0006	–	Н.о.	Н.о.
Li	0.002	0.002	0.003	0.003	Н.о.	Н.о.	La	0.002	0.002	0.001	–	Н.о.	Н.о.
Sc	0.001	0.001	0.0006	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Ce	0.002	0.001	0.002	–	Н.о.	Н.о.
V	0.016	0.008	0.005	Н.о.	–	–	Pr	Н.о.	0.002	–	–	Н.о.	Н.о.
Cr	0.006	0.003	0.003	0.002	Н.о.	Н.о.	Nd	Н.о.	0.011	0.0006	–	Н.о.	Н.о.
Co	0.002	0.003	0.001	0.003	–	–	Sm	0.0006	0.0006	0.0002	–	Н.о.	Н.о.
Ni	0.017	0.011	0.004	0.009	–	–	Eu	0.0002	0.0005	0.0001	–	Н.о.	Н.о.
Cu	0.017	0.012	0.007	0.021	Н.о.	Н.о.	Gd	Н.о.	Н.о.	0.0006	–	Н.о.	Н.о.
Zn	0.032	0.016	0.008	0.007	Н.о.	Н.о.	Tb	0.0001	0.0005	0.0001	–	Н.о.	Н.о.
Rb	0.003	0.003	0.006	–	Н.о.	Н.о.	Yb	0.001	0.0005	0.0002	–	Н.о.	Н.о.
Ga	–	0.0006	Н.о.	Н.о.	–	–	Lu	0.0001	0.0001	0.00003	–	Н.о.	Н.о.
As	Н.о.	Н.о.	0.002	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Th	–	Н.о.	0.001	–	Н.о.	Н.о.
Sr	0.274	0.229	0.023	Н.о.	0.170	0.035	U	–	Н.о.	0.0003	–	Н.о.	Н.о.

Примечания. Н.о. – не определялся; тире – число проб, меньше 7; ППП – потери при прокаливании; в числителе – колебания значений, в знаменателе – среднее арифметическое; n – число проб; 1–7 – типы отложений: 1 – кокколито-фораминиферовые глины и илы; 2 – кокколито-фораминиферовые глины и илы; 3 – диатомовые глины и илы; 4 – диатомово-радиоляриевые илы и глины; 5 – бентогенные и карбонатно-обломочные отложения; 6 – карбонатные турбидиты.

Абсолютные массы элементов

Абсолютные массы характеризуют интенсивность накопления химических компонентов. В табл. 9 приведены результаты расчета абсолютных масс оксидов петрогенных элементов в плейстоценовых отложениях Тихого океана. Данные табл. 9 получены или делением скоростей накопления (см. табл. 7, 8) на площади распространения анализируемых типов плейстоценовых отложений, приведенные в работе [Левитан, 2021], или умножением процентных содержаний оксидов петрогенных элементов на абсолютные массы соответствующих типов отложений, взятых из работы [Левитан, 2021] и последующим делением на 100.

Анализ табл. 9 свидетельствует о ведущей роли масс сухого вещества основных типов отложений.

Например, во всех пяти главных трендах распределения абсолютных масс (в условных единицах) (рис. 7) на первом месте находятся гемипелагические глины, а на последнем – вулканогенные отложения. Для Al₂O₃ и K₂O первые три места в рядах уменьшения абсолютных масс занимает последовательность: гемипелагические глины, терригенные турбидиты, пелагические глины. Для SiO₂ интересно перемещение на третье место диатомовых илов и глин, а для MnO – кокколито-фораминиферовых илов и глин; при этом пелагические глины в обоих случаях “оттеснены” на четвертое место. Ряд уменьшения абсолютных масс для CaO выглядит следующим образом: гемипелагические глины, кокколито-фораминиферовые илы и глины, терригенные турбидиты, кокколито-фораминиферовые илы и глины, бентогенные карбонатно-обломочные отложения и т.д.

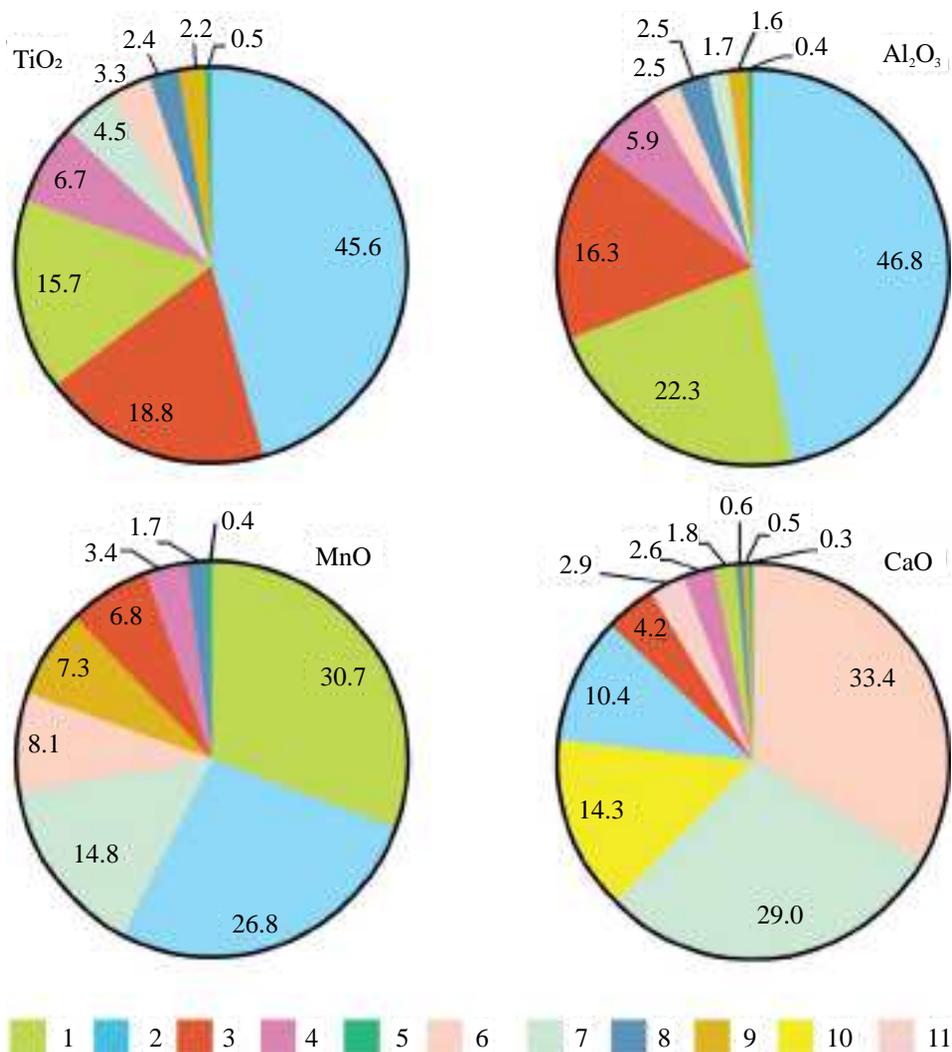


Рис. 6. Циклограммы средневзвешенного химического состава плейстоценовых отложений (в %). 1 – пелагические глины; 2 – гемипелагические глины; 3 – терригенные турбидиты; 4 – морские пески; 5 – вулканогенные отложения; 6 – кокколито-фораминиферовые илы и глины; 7 – кокколито-фораминиферовые илы и глины; 8 – диатомовые илы и глины; 9 – диатомово-радиоляриевые илы и глины; 10 – бентогенные карбонаты и карбонатно-обломочные отложения; 11 – карбонатные турбидиты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящий геохимический обзор является частью цикла наших работ по геохимическим особенностям плейстоценовых отложений Мирового океана [Левитан, 2024; Левитан и др., 2023, 2024]. Он предпринят для детализации данных о химическом составе земной коры на основе подхода А.Б. Ронова [Ронов и др., 1990].

Целью статьи являлось получение в табличном виде сведений о средневзвешенном химическом составе плейстоцена Тихого океана и связанных с ними данных по скоростям накопления химических компонентов в основных литологических типах рассматриваемых отложений и их абсолютным массам. Для достижения этой цели было

необходимо решить задачи по созданию соответствующей базы данных и расчету средних арифметических химических составов в этих типах отложений.

В качестве фактического материала для проведенных исследований послужили результаты химических анализов, опубликованные как в отчетах по рейсам Международного проекта глубоководного бурения (фазы DSDP, ODP, IODP), так и в других литературных источниках. Всего в собранной базе данных содержатся анализы 4139 проб с 47316 элементо-определениями.

Проведенный критический анализ этой базы позволил избавиться от неправильно выполненных аналитических результатов, точно

Таблица 7. Скорости накопления химических компонентов плейстоценовых литогенных отложений Тихого океана (в 10^{18} г/млн лет)

Компонент	1	2	3	4	5	Компонент	1	2	3	4	5
SiO ₂	164.96	467.86	215.27	74.04	5.88	Re	Н.о.	0.013	Н.о.	Н.о.	Н.о.
TiO ₂	2.03	5.89	2.43	0.87	0.11	Ge	Н.о.	0.001	Н.о.	Н.о.	0.00002
Al ₂ O ₃	74.21	163.53	51.78	20.64	1.48	Pb	0.006	0.017	–	0.002	0.0001
Fe ₂ O ₃	36.83	74.32	33.06	7.82	0.89	Mo	0.002	0.003	Н.о.	0.0006	0.00002
MnO	1.42	1.23	0.31	0.16	0.02	Y	–	0.018	–	0.003	0.0003
MgO	9.95	25.84	7.36	3.06	0.34	Zr	0.061	0.092	0.046	0.012	0.001
CaO	3.90	22.40	9.37	5.70	0.63	Cs	Н.о.	0.003	Н.о.	–	0.00004
Na ₂ O	3.69	24.53	8.30	3.23	0.34	Cd	0.049	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0.003
K ₂ O	16.84	23.79	17.57	2.37	0.19	Sb	Н.о.	0.002	Н.о.	–	–
P ₂ O ₅	0.75	1.55	0.52	0.13	0.02	B	Н.о.	0.070	Н.о.	Н.о.	Н.о.
ППП	–	72.28	–	10.03	0.94	Nb	0.003	0.009	–	0.0006	0.0002
Li	0.022	0.041	Н.о.	–	0.001	Hf	Н.о.	0.002	Н.о.	–	0.00003
Sc	0.012	0.025	Н.о.	0.006	0.0003	La	0.018	0.021	Н.о.	–	0.0002
Sn	0.007	0.003	–	–	Н.о.	Ce	0.025	0.040	Н.о.	0.004	0.0004
V	0.040	0.132	–	0.021	0.001	Pr	0.006	0.005	Н.о.	0.0006	0.0001
Cr	0.016	0.073	–	0.006	0.001	Nd	0.023	0.014	Н.о.	–	0.0002
Co	0.012	0.009	–	0.001	0.0001	Sm	0.006	0.004	Н.о.	0.0006	0.0001
Ni	0.061	0.050	–	0.003	0.0006	Eu	0.002	0.0006	Н.о.	–	0.00001
Cu	0.121	0.044	–	0.007	0.0006	Gd	–	0.004	Н.о.	Н.о.	0.00006
Zn	0.050	0.092	–	0.013	0.001	Tb	–	0.0006	Н.о.	–	0.00001
Rb	0.037	0.069	0.047	0.004	0.0006	Dy	0.007	0.004	Н.о.	Н.о.	0.00006
Ga	0.008	0.014	Н.о.	0.002	0.0002	Ho	0.0006	0.0006	Н.о.	Н.о.	0.00001
As	Н.о.	0.008	–	0.001	0.0001	Er	0.003	0.002	Н.о.	–	0.00006
Se	0.0001	0.002	Н.о.	Н.о.	0.00001	Tm	Н.о.	0.0006	Н.о.	Н.о.	0.00001
Br	Н.о.	0.018	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Yb	0.002	0.002	Н.о.	–	0.00002
Sr	0.033	0.201	0.103	0.028	0.002	Lu	–	0.0005	Н.о.	–	0.00001
Mo	0.002	Н.о.	Н.о.	0.0006	Н.о.	Th	Н.о.	0.011	Н.о.	–	0.0001
Ba	0.279	0.627	–	0.047	0.004	U	Н.о.	0.004	Н.о.	0.001	0.00003
Ta	0.0001	0.0006	Н.о.	–	0.00001						

Примечания. Н.о. – не определялся; тире – число проб, меньшее 7; ППП – потери при прокаливании; *n* – число проб; 1–5 – типы отложений: 1 – пелагические глины; 2 – гемипелагические глины; 3 – терригенные турбидиты; 4 – морские пески; 5 – вулканогенные отложения.

охарактеризовать литотип каждой пробы, включить литотипы в обобщенные типы отложений, перевести значения содержаний петрогенных химических элементов в содержания их оксидов, выбраковать “ураганные” значения. Выявлена сильно выраженная пространственно-временная неоднородность в распределении содержаний химических компонентов. По возрасту мы были вынуждены ограничиться только расчетами средних содержаний по всему плейстоцену, без его разделения на нео- и эоплейстоцен.

Авторы не ставили перед собой задачу изучения сложной геохимической системы

плейстоценовой седиментации в Тихом океане. Тем не менее, принятый пространственно-временной масштаб исследования (весь Тихий океан и весь плейстоцен) позволил сделать ряд эмпирических обобщений, которые были бы невозможны при локальных или региональных работах.

В результате рассчитаны средние арифметические значения химического состава для основных литологических типов отложений. Установлена значительная роль цеолитовых (филипситовых) глин среди плейстоценовых пелагических глин [Левитан, 2021]. Ранее существенная роль именно цеолитовых глин среди современных

Таблица 8. Скорости накопления химических компонентов плейстоценовых биогенных отложений Тихого океана (в 10^{18} г/млн лет)

Компонент	1	2	3	4	5	6	Компонент	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	40.21	26.01	47.54	25.74	Н.о.	Н.о.	Ba	0.197	0.313	0.058	Н.о.	Н.о.	Н.о.
TiO ₂	0.43	0.59	0.31	0.28	Н.о.	Н.о.	Pb	0.006	0.003	0.002	—	Н.о.	Н.о.
Al ₂ O ₃	8.79	5.79	8.83	5.75	Н.о.	Н.о.	Mo	0.002	0.003	0.004	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Fe ₂ O ₃	4.10	4.54	1.97	3.18	0.02	0.003	Y	0.004	0.006	0.002	—	—	—
MnO	0.37	0.68	0.08	0.34	0.002	0.0006	Zr	0.010	0.009	0.007	—	—	—
MgO	2.09	2.20	0.92	1.74	1.15	0.23	Cs	0.0006	0.0006	0.0002	—	Н.о.	Н.о.
CaO	73.46	63.77	1.44	1.13	31.91	6.52	Cd	Н.о.	0.140	Н.о.	—	Н.о.	Н.о.
Na ₂ O	2.31	2.34	2.02	0.73	Н.о.	Н.о.	Sn	0.003	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
K ₂ O	1.31	1.01	1.70	1.04	Н.о.	Н.о.	Sb	0.0002	0.0003	0.0001	Н.о.	Н.о.	Н.о.
P ₂ O ₅	0.21	0.21	0.08	0.09	Н.о.	Н.о.	B	0.018	0.008	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
ППП	56.35	58.85	4.73	6.32	Н.о.	Н.о.	Nb	—	0.0006	0.0006	—	Н.о.	Н.о.
Li	0.002	0.002	0.003	0.003	Н.о.	Н.о.	La	0.002	0.002	0.001	—	Н.о.	Н.о.
Sc	0.001	0.001	0.0006	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Ce	0.002	0.001	0.002	—	Н.о.	Н.о.
V	0.016	0.008	0.005	Н.о.	—	—	Pr	Н.о.	0.002	—	—	Н.о.	Н.о.
Cr	0.006	0.003	0.003	0.002	Н.о.	Н.о.	Nd	Н.о.	0.011	0.0006	—	Н.о.	Н.о.
Co	0.002	0.003	0.001	0.003	—	—	Sm	0.0006	0.0006	0.0002	—	Н.о.	Н.о.
Ni	0.017	0.011	0.004	0.009	—	—	Eu	0.0002	0.0005	0.0001	—	Н.о.	Н.о.
Cu	0.017	0.012	0.007	0.021	Н.о.	Н.о.	Gd	Н.о.	Н.о.	0.0006	—	Н.о.	Н.о.
Zn	0.032	0.016	0.008	0.007	Н.о.	Н.о.	Tb	0.0001	0.0005	0.0001	—	Н.о.	Н.о.
Rb	0.003	0.003	0.006	—	Н.о.	Н.о.	Yb	0.001	0.0005	0.0002	—	Н.о.	Н.о.
Ga	—	0.0006	Н.о.	Н.о.	—	—	Lu	0.0001	0.0001	0.00003	—	Н.о.	Н.о.
As	Н.о.	Н.о.	0.002	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Th	—	Н.о.	0.001	—	Н.о.	Н.о.
Sr	0.274	0.229	0.023	Н.о.	0.170	0.035	U	—	Н.о.	0.0003	—	Н.о.	Н.о.

Примечания. Н.о. — не определялся; тире — число проб, меньше 7; ППП — потери при прокаливании; в числителе — колебания значений, в знаменателе — среднее арифметическое; *n* — число проб; 1–7 — типы отложений: 1 — кокколитовые глины и илы; 2 — кокколито-фораминиферовые глины и илы; 3 — диатомовые глины и илы; 4 — диатомово-радиоляриевые илы и глины; 5 — бентогенные и карбонатно-обломочные отложения; 6 — карбонатные турбидиты.

Таблица 9. Средневзвешенные абсолютные массы петрогенных компонентов химического состава (в г/см² × тыс. лет) основных типов плейстоценовых отложений Тихого океана

Компонент	Типы отложений								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	0.25	10.48	4.13	0.02	0.10	0.10	Н.о.	0.37	0.10
TiO ₂	0.003	0.13	0.05	0.0004	0.001	0.002	Н.о.	0.002	0.001
Al ₂ O ₃	0.11	3.66	0.99	0.006	0.02	0.02	Н.о.	0.07	0.02
Fe ₂ O ₃	0.06	1.66	0.63	0.003	0.01	0.02	0.00002	0.02	0.01
MnO	0.002	0.03	0.006	0.0001	0.001	0.003	0.000002	0.001	0.001
MgO	0.02	0.58	0.14	0.001	0.005	0.009	0.001	0.007	0.007
CaO	0.006	0.50	0.18	0.002	0.18	0.25	0.041	0.01	0.004
Na ₂ O	0.006	0.55	0.16	0.001	0.006	0.009	Н.о.	0.016	0.003
K ₂ O	0.03	0.53	0.34	0.0007	0.003	0.004	Н.о.	0.013	0.004
P ₂ O ₅	0.001	0.03	0.01	0.0001	0.001	0.001	Н.о.	0.001	0.0003

Примечания. Типы отложений: 1 — пелагические глины; 2 — гемипелагические глины; 3 — терригенные турбидиты; 4 — вулканогенно-обломочные отложения и вулканические пеплы; 5 — кокколитовые глины и илы; 6 — кокколито-фораминиферовые глины и илы; 7 — бентогенные и карбонатно-обломочные отложения; 8 — диатомовые глины и илы; 9 — диатомово-радиоляриевые глины и илы. Н.о. — не определялся.

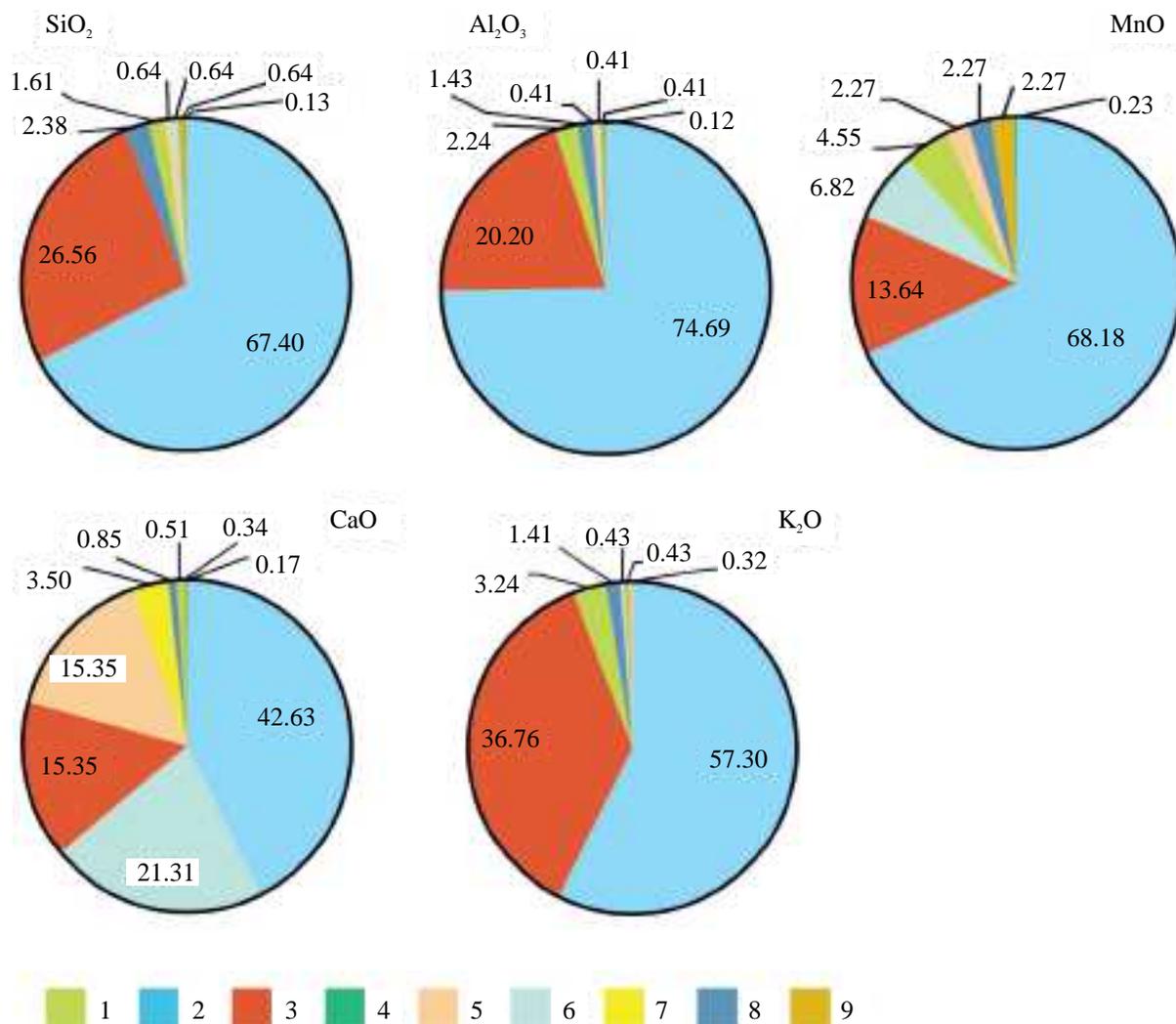


Рис. 7. Циклограммы абсолютных масс плейстоценовых отложений (в условных единицах).

1 – пелагические глины; 2 – гемипелагические глины; 3 – терригенные турбидиты; 4 – вулканогенно-обломочные отложения и вулканические пеплы; 5 – кокколитолевые глины и илы; 6 – кокколито-фораминиферовые глины и илы; 7 – бентогенные и карбонатно-обломочные отложения; 8 – диатомовые глины и илы; 9 – диатомово-радиоляриевые глины и илы.

пелагических глин Тихого океана была отмечена в работе [Скорнякова, Мурдмаа, 1968]. Напомним, что в исследуемых отложениях филлипситы формируются по палагонитам (гидратированному вулканическому стеклу основного состава). По результатам изучения состава современных пелагических глин Пацифики в них было твердо установлено присутствие заметного количества вулканогенного вещества [Cronan, 1974]. По нашим данным продемонстрировано большое сходство гемипелагических глин и вулканогенных отложений. Таким образом, геохимические особенности плейстоценовых отложений Тихого океана во многом определяются повышенной ролью вулканогенного вещества в их составе.

Показана специфика гидротермальных отложений по сравнению с фоновыми осадками. Проведены сравнения полученных данных для ряда литогенных осадков с эталоном PAAS [Тейлор, Мак-Леннан, 1988], а для обломочных отложений – с эталоном верхней континентальной коры (UCC) [Rudnick, Gao, 2003]. Выявлены соответствующие черты сходства и различия. Установлено доминирование терригенной матрицы для глинистых осадков и бескарбонатного вещества карбонатных отложений.

По данным корреляционного анализа выделены основные геохимические ассоциации. Факторный анализ установил доминирование трех факторов: первый из них связан с литогенным/карбонатным

веществом (соответственно, по положительным и отрицательным факторным нагрузкам), второй — с водородным материалом. Интерпретация третьего фактора пока остается неясной.

С учетом ранее полученных данных по средне-взвешенному литологическому составу [Левитан, 2021] рассчитаны средневзвешенные химические составы изученных отложений. В целом в плейстоценовых отложениях Тихого океана содержится (в 10^{18} г): SiO_2 — 1910.85, TiO_2 — 23.15, Al_2O_3 — 610.03, Fe_2O_3 — 298.46, MnO — 8.22, MgO — 92.83, CaO — 394.22, Na_2O — 85.00, K_2O — 117.84, P_2O_5 — 6.37, ППП — 375.01. Стоит иметь в виду, что, по данным из монографии [Батурич, 1986], в полях железо-марганцевых конкреций содержится около одной трети от массы Mn в одновозрастных осадках. Минимальные массы (в 10^{18} г) ряда редких элементов составляют: Li — 0.130, V — 0.398, Cr — 0.196, Co — 0.089, Ni — 0.278, Cu — 0.409, Zn — 0.394, Sr — 1.965, Ba — 2.731, Zr — 0.429.

Нами рассчитаны следующие средние содержания петрогенных оксидов в плейстоцене Тихого океана (в мас. %): SiO_2 — 49.32, TiO_2 — 0.60, Al_2O_3 — 15.75, Fe_2O_3 — 7.70, MnO — 0.21, MgO — 2.40, CaO — 10.18, Na_2O — 2.19, K_2O — 3.04, P_2O_5 — 0.16. На долю ППП приходится 8.45 мас. %.

В целом полученная нами информация позволяет проводить сравнительный анализ как с плейстоценовыми отложениями других океанических бассейнов, так и с осадками других стратон в пределах Мирового океана и палеоокеанов на континентах.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Благодарим Т.А. Антонову за помощь в создании статьи.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках государственного задания Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Батурич Г.Н. Геохимия железо-марганцевых конкреций океана. М.: Наука, 1986. 328 с.
 Волков И.И., Севастьянова Е.С., Ягодинская Т.А. Фосфор в осадках северо-западной части Тихого океана // Геохимия. 1974. № 9. С. 1297–1309.
 Волков И.И., Соколов В.С., Соколова Е.Г., Пилипчук М.Ф. Редкие и рассеянные элементы в осадках северо-запад-

ной части Тихого океана // Литология и полез. ископаемые. 1974. № 2. С. 3–22.

Волков И.И., Фомина Л.С. Новые данные по геохимии редкоземельных элементов в осадках Тихого океана // Геохимия. 1973. № 11. С. 1603–1615.

Деков В. Гидротермальное осадкообразование в Тихом океане. М.: Наука, 1994. 208 с.

Дубинин А.В., Римская-Корсакова М.Н. Геохимия редкоземельных элементов в донных отложениях Бразильской котловины Атлантического океана // Литология и полез. ископаемые. 2011. № 1. С. 3–20.

Дубинин А.В., Розанов А.Г. Геохимия редкоземельных элементов и тория в осадках и железо-марганцевых конкрециях Атлантического океана // Литология и полез. ископаемые. 2001. № 3. С. 311–323.

Левитан М.А. Миоцен-четвертичная история кремне-накопления в восточной части экваториальной зоны Тихого океана и проблемы реконструкции палеопродуктивности // Литология и полез. ископаемые. 2000. № 5. С. 478–486.

Левитан М.А. Плейстоценовые отложения Мирового океана. М.: РАН, 2021. 408 с.

Левитан М.А. Первые результаты сравнительного анализа химического состава плейстоценовых отложений Индийского и Атлантического океанов // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2024. № 3. С. 54–58.

Левитан М.А., Антонова Т.А., Домарацкая Л.Г. и др. Химический состав плейстоценовых отложений Индийского океана // Литология и полез. ископаемые. 2023. № 5. С. 423–444.

Левитан М.А., Антонова Т.А., Домарацкая Л.Г., Кольцова А.В. Геохимические особенности плейстоценовых отложений Атлантического океана // Литология и полез. ископаемые. 2024. № 3. С. 279–300.

Левитан М.А., Кузьмина Т.Г., Лукша В.Л. и др. Позднеплейстоценовая история осадконакопления на подводном хребте Ширшова (Берингово море) // Геохимия. 2013. № 3. С. 195–228.

Левитан М.А., Кузьмина Т.Г., Лукша В.Л. и др. История седиментации на континентальном склоне Кроноцкого полуострова (Восточная Камчатка) // Литология и полез. ископаемые. 2015. № 4. С. 283–304.

Левитан М.А., Лукша В.Л., Толмачева А.В. История седиментации в северной части Охотского моря в течение последних 1.1 млн лет // Литология и полез. ископаемые. 2007. № 3. С. 227–246.

Лисицын А.П., Богданов Ю.А., Мурдма И.О. и др. Металлоносные осадки и их генезис // Геолого-геофизические исследования в восточной части Тихого океана. М.: Наука, 1976. С. 289–379.

Лисицын Н.А., Дворецкая О.А. Литологический профиль через Северо-Западную котловину Тихого оке-

- ана // Литология и полез. ископаемые. 1972. № 4. С. 3–26.
- Лисицына Н.А., Дворецкая О.А., Пушкина З.В., Черкасова Е.В. К геохимии элементов-гидролизатов в осадках Северо-Западной котловины Тихого океана // Литология и полез. ископаемые. 1973. № 6. С. 3–21.
- Ронов А.Б., Ярошевский А.А., Мигдисов А.А. Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. М.: Наука, 1990. 183 с.
- Свальнов В.Н., Гордеев В.В. Химический состав осадков // Железомарганцевые конкреции центральной части Тихого океана. М.: Наука, 1986. С. 68–88.
- Скорнякова Н.С., Мурдмаа И.О. Литолого-фациальные типы глубоководных пелагических (красных) глин Тихого океана // Литология и полез. ископаемые. 1968. № 6. С. 17–37.
- Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
- Baker P.E., Coltorti M., Briquieu L. et al. Volcanic ash layers from Sites 828, 830, 831, 832, and 833, new Hebrides Island arc // Proc. ODP, Sci. Results. 134. 1994. P. 403–412 (College Station, TX).
- Barrett T.J., Friedrichsen H., Fleet A.J. Elemental and stable isotopic composition of some metalliferous and pelagic sediments from the Galapagos mounds area, Deep Sea Drilling Project Leg 70 // Init. Repts. DSDP. 70. 1983. P. 315–323 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).
- Beck K., Hickey-Vargas R. Composition, age and origin of Pleistocene turbidite deposits at ODP Site 1232, Nazca plate: Implications for volcanism and climate change in central south Chile // J. South Amer. Earth Sci. 2022. V. 118. <https://doi.org/10.1016/j.sames.2022.103908>
- Beiersdorf H., Natland J.H. Sedimentary and diagenetic processes in the central Panama Basin since the Late Miocene: the lithology and composition of sediments from Deep Sea Drilling Project Sites 504 and 505 // Init. Repts. DSDP. 69. 1983. P. 343–383 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).
- Boström K., Joensuu O., Valdés S. et al. Geochemistry and origin of East Pacific sediments sampled during DSDP Leg 34 // Init. Repts. DSDP. 34. 1976. P. 559–574 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).
- Bruggmann S., Severmann S., McManus J. Geochemical conditions regulating chromium preservation in marine sediments // Geochim. Cosmochim. Acta. 2023. V. 348. P. 239–257.
- Cao L.Q., Arculus R.J., McKelvey B.C. Geochemistry and petrology of volcanic ashes recovered from Sites 881 through 884: a temporal record of Kamchatka and Kurile volcanism // Proc. ODP, Sci. Results. 145. 1995. P. 345–381 (College Station, TX).
- Corliss J.B., Dymond J., Lopez C. Elemental abundance patterns in Leg 34 rocks // Init. Repts. DSDP. 34. 1976. P. 293–299 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).
- Cramp A., Lewis C. Data report: Pliocene-Pleistocene-Holocene trace metal data from Holes 794A, 795A, 797A, and 797B // Proc. ODP. 127. 1992. P. 1361–1366 (College Station, TX).
- Cronan D.S. Authigenic minerals in deep-sea sediments // The Sea. V. 5. Marine Chemistry / Ed. E.D. Goldberg. N. Y.: Wiley-Interscience, 1974. P. 491–526.
- Dean W.E. Inorganic geochemistry of sediments and rocks from the Mid-Pacific mountains and Hess Rise, Deep Sea Drilling Project Leg 62 // Init. Repts. DSDP. 62. 1981. P. 685–710 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).
- Donnelly T.W. Chemical composition of deep-sea sediments – Sites 9 through 425, Leg 2 through 54, Deep Sea Drilling Project // Init. Repts. DSDP. 54. 1980a. P. 899–949 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).
- Donnelly T.W. Secondarily modified sediments of the Eastern Pacific: major-element chemistry of Sites 420, 424 and 425, Deep Sea Drilling Project Leg 54 // Init. Repts. DSDP. 54. 1980b. P. 329–338 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).
- Donnelly T.W., Wallace J.L. Major element chemistry of the Tertiary rocks at Site 317 and the problem of the origin of the nonbiogenic fraction of pelagic sediments // Init. Repts. DSDP. 33. 1976. P. 557–562 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).
- Dymond J., Corliss J.B., Cobler R. et al. Composition and origin of sediments recovered by deep drilling of sediment mounds, Galapagos spreading center // Init. Repts. DSDP. 54. 1980. P. 899–949 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).
- Feng J., Li N., Liang J. et al. Discerning the sulfur geochemical features of turbidites and methane-rich sediments from the South China sea // Mar. Petrol. Geol. 2024. V. 160. 106602.
- Frakes L.A. Geochemistry of Ross Sea diamicts // Init. Repts. DSDP. 28. 1975. P. 789–794 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).
- Furuta T., Fujioka K., Arai F. Widespread submarine tephra around Japan – petrographic and chemical properties // Mar. Geol. 1986. V. 72. P. 125–142.
- Garcia M.O. Pliocene-Pleistocene volcanic sands from Site 842: products of giant landslides // Proc. ODP, Sci. Results. 136. 1993. P. 53–63 (College Station, TX).
- Gradstein F.M., Ogg J.G., Smith A.G. A Geologic Time Scale 2004. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2004. 599 p.
- Grechin V.I., Niem A.R., Mahood R.O. et al. Neogene tuffs, ashes, and volcanic breccias from offshore California and Baja California, Deep Sea Drilling Project Leg 63 sedimentation and diagenesis // Init. Repts. DSDP. 63. 1981a. P. 631–657 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).
- Grechin V.I., Pisciotto K.A., Mahoney J.J. Neogene siliceous sediments and rocks off southern California and Baja California, Deep Sea Drilling Project Leg 63 // Init. Repts. DSDP. 63. 1981b. P. 579–593 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).

- Gurvich E.G., Levitan M.A., Kuzmina T.G.* Chemical composition of Leg 138 sediments and history of hydrothermal activity // Proc. ODP, Sci. Results. 138. 1995. P. 769–778 (College Station, TX).
- Heath G.R., Kovar R.B., Lopez C.* Geochemistry of sediments at Sites 579, 580, and 581, Deep Sea Drilling Project Leg 86, western north Pacific // Init. Repts. DSDP. 86. 1985a. P. 657–670 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).
- Heath G.R., Kovar R.B., Lopez C., Campi G.L.* Elemental composition of Cenozoic pelagic clays from Deep Sea Drilling Project Sites 576 and 578, Western North Pacific // Init. Repts. DSDP. 86. 1985b. P. 605–646 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).
- Hiscott R.N., Gill J.B.* Major and trace element geochemistry of Oligocene to Quaternary volcanoclastic sands and sandstones from the Izu-Bonin Arc // Proc. ODP, Sci. Results. 126. 1992. P. 467–485 (College Station, TX).
- Hoffert M., Person A., Courtois C. et al.* Sedimentology, mineralogy and geochemistry of hydrothermal deposits from Holes 424, 424A, 424B and 4424C (Galapagos spreading center) // Init. Repts. DSDP. 54. 1980. P. 339–376 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).
- Irino T., Pedersen T.F.* Geochemical character of glacial to interglacial sediments at Site 1017, southern Californian margin: minor and trace elements // Proc. ODP, Sci. Results. 167. 2000. P. 263–270 (College Station, TX).
- Karpoff A.M.* The sedimentary deposits of Suiko seamount (Leg 55, Site 433): from the reef environment to the pelagic sedimentation // Init. Repts. DSDP. 55. 1980. P. 491–501 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).
- Kurnosov V.B., Murdmaa I.O., Kazakova V.P. et al.* Mineralogy and inorganic geochemistry of sediments from the mouth of the Gulf of California // Init. Repts. DSDP. 65. 1983. P. 399–424 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).
- Kuykendall Jr. W.E., Hoffman B.F., Wainardi R.E.* 14-MeV neutron activation analysis of selected Leg 5 core samples // Init. Repts. DSDP. 5. 1971. P. 484–494 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).
- Lamy F., Hebbeln D., Wefer G.* Terrigenous sediment supply along the Chilean continental margin: modern region patterns of texture and composition // Geol. Rundsch. 1998. V. 87. P. 477–494.
- Leggett J.K.* Geochemistry of Cocos plate pelagic-hemipelagic sediments in Hole 487, Deep Sea Drilling Project Leg 66 // Init. Repts. DSDP. 66. 1982. P. 683–686 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).
- Lisitsin A.P., Serova V.V., Zverinskaya I.B. et al.* Geochemical, mineralogical and paleontological studies // Init. Repts. DSDP. 6. 1971. P. 829–960 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).
- Lyle M.W.* Major element composition of Leg 92 sediments // Init. Repts. DSDP. 92. 1986. P. 355–370 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).
- Migdisov A.A., Gradusov B.P., Bredanova N.V. et al.* Major and minor elements in hydrothermal and pelagic sediments of the Galapagos mounds area, Leg 70, Deep Sea Drilling Project // Init. Repts. DSDP. 70. 1983. P. 277–295 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).
- Migdisov A.A., Miklishansky A.Z., Saveliev B.S. et al.* Neutron activation analysis of rare earth elements and some other trace elements in volcanic ashes and pelagic clays, Deep Sea Drilling Project Leg 59 // Init. Repts. DSDP. 59. 1981. P. 653–668 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).
- Mimura K., Nakamura K., Yasukawa K. et al.* Significant impacts of pelagic clay on average chemical composition of subducting sediments: New insights from discovery of extremely rare-earth elements and yttrium-rich mud at Ocean Drilling Program Site 1149 in the western North Pacific Ocean // J. Asian Earth Sci. 2019. V. 186. 104059.
- Minai Y., Matsumoto R., Tominaga T.* Geochemistry of deep-sea sediments from the Nankai Trough, the Japan Trench, and adjacent regions // Init. Repts. DSDP. 87. 1986. P. 643–657 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).
- Minai Y., Matsumoto R., Watanabe Y., Tominaga T.* Geochemistry of Rare Earths and other trace elements in sediments from Sites 798 and 799, Japan Sea // Proc. ODP, Sci. Results. 128. 1992. P. 719–737 (College Station, TX).
- Moorby S.A., Varnavas S.P., Cronan D.S.* Geochemistry of sediments from the East Pacific Rise at 23°N // Init. Repts. DSDP. 65. 1983. P. 425–430 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).
- Murdmaa I., Gordeev V., Kuzmina T. et al.* Geochemistry of the Japan Trench sediments recovered on Deep Sea Drilling Project Legs 56 and 57 // Init. Repts. DSDP. 56–57. 1980. P. 1213–1232 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).
- Natland J.H.* Volcanic ash and pumice at Shatsky Rise: sources, mechanisms of transport, and bearing on atmospheric circulation // Proc. ODP, Sci. Results. 132. 1993. P. 57–66 (College Station, TX).
- Nishimura A., Mita N., Nohara M.* Pelagic and hemipelagic sediments of the Izu-Bonin region, Leg 126: geochemical and compositional features // Proc. ODP, Sci. Results. 126. 1992. P. 487–503 (College Station, TX).
- Ouyang A., Xiong W., Li X. et al.* Occurrence and screening-flotation separation for the beneficiation of rare earth elements and yttrium (REY) in core sediments from the Pacific Ocean // Mar. Geol. 2023. V. 462. 107097.
- Patience R.L., Clayton C.J., Kearsley A.T. et al.* An integrated biochemical, geochemical, and sedimentological study of organic diagenesis in sediments from Leg 112 // Proc. ODP, Sci. Results. 112. 1990. P. 135–153 (College Station, TX).
- Ren J., Jiang X., He G. et al.* Enrichment and sources of REY in phosphate fractions: Constraints from the leaching of REY-rich deep-sea sediments // Geochim. Cosmochim. Acta. 2022. V. 335. P. 155–168.
- Rudnick R.L., Gao S.* Composition of continental crust // Treatise of Geochemistry. V. 3. The Crust / Ed. R.L. Rudnick. Amsterdam: Elsevier, 2003. P. 1–64.
- Schrader L., Furbish W.J.* Geochemistry and carbonate petrology of selected sediment samples from Deep Sea

Drilling Project Leg 54, Eastern Pacific // Init. Repts. DSDP. 54. 1980. P. 319–328 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).

Varentsov I.M. Geochemical history of post-Jurassic sedimentation in the central northwestern Pacific, southern Hess Rise, Deep Sea Drilling Project Site 465 // Init. Repts. DSDP. 62. 1981a. P. 805–818 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).

Varentsov I.M. Geochemical history of post-Jurassic sedimentation in the central northwestern Pacific, southern Hess Rise, Deep Sea Drilling Project Site 466 // Init. Repts. DSDP. 62. 1981b. P. 819–832 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).

Varentsov I.M., Sakharov B.A., Drits V.A. et al. Hydrothermal deposits of the Galapagos Rift zone, Leg 70: mineralogy and geochemistry of major components // Init. Repts. DSDP. 70. 1983. P. 235–268 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).

Varentsov I.M., Timofeev P.P., Rateev M.A. Geochemical history of post-Jurassic sedimentation in the central northwestern Pacific, western Mid-Pacific mountains, Deep Sea Drilling Project Site 463 // Init. Repts. DSDP. 62. 1981. P. 785–804 (U.S. Government Print. Off., Washington DC).

Watanabe T., Kagami S., Niwa M. Geochemical and heavy mineral signatures of marine incursions by a paleotsunami on the Miyazaki plain along the Nankai–Suruga Trough, the Pacific coast of southwest Japan // *Mar. Geol.* 2022. V. 444. 106704.

Yasukawa K., Nakamura K., Fujinaga K. et al. Rare-earth, major and trace element geochemistry of deep-sea sediments in the Indian Ocean: implications for the potential distribution of REE-rich mud in the Indian Ocean // *Geochem. J.* 2015. V. 49. P. 621–635.

Zheng L., Minami T., Takano S., Sohrin Y. Distributions of aluminum, manganese, cobalt, and lead in the western South Pacific: Interplay between the South and North Pacific // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 2022. V. 338. P. 105–120.

GEOCHEMICAL PECULIARITIES OF THE PACIFIC PLEISTOCENE SEDIMENTS

M. A. Levitan^{1,*}, L. G. Domaratskaya¹, A. V. Koltsova¹, K. V. Syromyatnikov¹

¹*Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Kosygina str., 19, Moscow, 119991 Russia*

**e-mail: m-levitan@mail.ru*

In the geochemical review based on records from cruises of International project of Deep-Sea Drilling and other literature data concerning main lithologic types of the Pacific Pleistocene sediments we presented tables of average arithmetic chemical composition, meanweighted chemical composition, accumulation rates, and mass accumulation rates of chemical components. These tables can be used for comparative analysis with sediments of the same or other stratons in different oceanic basins and also with paleoceanic sediments on the continents. Terrigenous matrix dominates within lithogenic matter. We discovered a close resemblance between chemical composition of hemipelagic clays and volcanic sediments. Peculiarities of hydrothermal sediments are described. Using methods of mathematical statistics, we revealed main geochemical associations and principal factors determining the chemical composition of studied sediments. Masses of oxides of petrogenic elements and a number of trace elements have been calculated for Pleistocene sediments. We managed to take an idea about average chemical composition of the Pacific Pleistocene.

Keywords: Pacific Ocean, Pleistocene, bottom sediments, geochemistry